

外掺 MgO 混凝土自生体积变形的长期研究

李 承 木

(国家电力公司成都勘测设计研究院,成都,610072)

摘 要 论述了观测时间长达 10 年及 20 年的外掺轻烧 MgO 和内含 MgO 水泥混凝土自生体积变形的试验研究成果。通过长达 12 年的力学与变形性能试验,阐明了 MgO 混凝土的长期力学性质是安定的,微膨胀对混凝土长期力学性能的影响不大。

关键词 外掺 MgO 内含 MgO 自生体积变形 MgO 混凝土 膨胀变形

1 前 言

混凝土坝的裂缝及其防治一直是水电工程界十分关注的重大技术问题。混凝土坝裂缝的发生及其发展,不仅影响工程外观,而且影响建筑物的安全运行。尤其是那些危害性裂缝的出现,往往会影响其使用寿命。近 20 年来,随着科学技术的不断进步与工程实践,人们已经认识到对于大坝的防裂问题,应当通过多种途径,采取综合性措施来控制裂缝的发生和发展,尽可能地避免危害性裂缝的出现。其中特别重要的一个方面,则是从组成混凝土原材料及混凝土自身的变形特性出发来研究混凝土本身的防裂问题,掺用外加剂、混合材以及掺 MgO 新材料等一系列措施,都能改善混凝土的性能,以提高其抗裂性。

对 MgO 混凝土筑坝研究,通过长达 20 年的自生体积变形观测及 12 年的力学与变形性能试验,说明 MgO 混凝土的自生体积变形是稳定的,它既不会产生无限膨胀,又不会出现回缩现象,其长期膨胀变形能总是趋于稳定的。MgO 混凝土的长期力学性质也是安定的,微膨胀对混凝土的长期力学性能的影响不大。对外掺 MgO 混凝土的研究经过长达 10 年的观测,证明其自生体积膨胀变形是稳定的,不会产生二次性膨胀。

MgO 微膨胀混凝土筑坝技术,经过 10 余年室内基础理论研究,在 1987 年至 1989 年中间试验期间,先后在石塘护坦、铜街子主坝、东风重力围堰作外掺 MgO 混凝土现场试验,以及在白山和红石两工程当中,曾做了内含 MgO 水泥混凝土的工程应用实践,均取得了丰硕的室内外研究成果,该项科研成果于 1989 年 9 月 23 日在贵阳通过了能源部组织的部级技术鉴定。因此,这项新技术从 1990 年初开始,先

后在我国大中型水利水电工程中得到成功应用。这些工程是:贵州省的东风、普定电站,广东省的青溪电站,福建省的水口,黄兰溪电站,青海省的李家峡电站,四川省的铜街子、东西关、铜头、龙潭、花滩、红叶电站等,这些电站的大坝基础和导流洞封堵以及压力钢管外围等工程部位都采用了外掺 MgO 新材料筑坝技术,均取得显著地技术经济效益。实践证明,掺 MgO 混凝土筑坝技术是国内外筑坝技术的重大创新和突破。

掺 MgO 混凝土筑坝技术是指在生产大坝混凝土时加入适量的、特制的 MgO,利用其特有的延迟微膨胀性能,来补偿混凝土坝的收缩和温度变形,以防止产生裂缝。采用 MgO 混凝土,辅以其它适当措施,可以作到全部或部分取代传统的混凝土坝温控措施,这不仅有利于解决混凝土坝开裂问题,而且可以实现长块、厚层、通仓连续浇筑,降低工程造价,简化施工工艺,缩短工期,大大加快施工进度,因此,在我国具有重大的技术经济优势和应用发展前景。

为推广 MgO 混凝土筑坝技术,使 MgO 混凝土在水利水电工程中更广泛地应用,总结和交流 20 年来的试验研究成果,陆续介绍一些有关的技术知识,以便正确地掌握 MgO 混凝土的性能,这对加快我国水电工程建设具有重要的实际意义。

2 试验概况

2.1 混凝土的原材料和配合比

2.1.1 混凝土原材料

(1) 胶凝材料:水泥品种及标号、粉煤灰生产厂家、氧化镁品种及性能以及它们的化学成分见表 1。

(2) 粗细骨料:铜街子工程葫芦坝料场的河沙和花岗岩砾石() ;白山电站工程料场的天然河沙和卵石() ;二滩电站采用正长岩加工的人工砂石骨料()。

2.1.2 混凝土配合比

各种混凝土的配合比组成见表 2。

2.2 试验条件和试验方法

2.2.1 试验条件

(1) 试验养护温度为 20℃, 将各种混凝土的自生体积变形试件均置于恒温恒湿的徐变室内进行长期观测。徐变室内温度控制在 20 ± 0.5℃ 以内, 相对湿度控制在 85% 以上。

表 1 水泥和粉煤灰及氧化镁的化学成份表

类别	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	fCao	LOSS	品种标号及性能
水泥 / %	21.11	5.14	5.31	63.53	4.28	~	0.40	~	抚顺 525 号硅酸盐大坝水泥
	21.03	5.18	5.30	63.35	4.38	~	0.39	~	抚顺 425 号矿渣大坝水泥
	21.82	5.99	4.90	61.03	1.22	2.00	0.66	1.80	峨眉 525 号硅酸盐大坝水泥
	21.17	5.31	4.48	62.31	1.53	0.73	~	1.21	渡口 525 号硅酸盐大坝水泥
	21.61	4.64	6.77	60.34	2.23	2.86	~	1.09	峨眉 525 号普通硅酸盐水泥
粉煤灰 / %	48.90	13.93	19.58	6.71	0.72	0.79	~	4.26	宜宾豆坝电厂粉煤灰
	54.04	6.82	23.01	2.40	5.25	1.80	~	1.91	渡口河门口电厂粉煤灰
氧化镁 / %	0.28	0.62	0.18	1.12	93.54	~	~	4.18	海城回转窑 120 ~ 320 目, 活性 123s
	2.94	0.64	0.40	1.22	90.68	~	~	3.95	海城反射窑 120 ~ 180 目, 活性 260s。

表 2 混凝土配合比表

配比编号	混凝土标号	水泥品种及标号	MgO 掺量 / %	水灰比	砂率 / %	胶材 / kg·m ⁻³	粉煤灰品种掺量 / %	混凝土的配合比例	外加剂掺量 / %	坍落度 / cm	级配
R ₉₀ 250 号	峨眉 525 号普通硅水泥	外掺 5.5	0.60	30	223	豆坝灰 30	1 2.883 6.726	MG 0.25	5~7	2	
R ₁₈₀ 300 号	渡口 525 号大坝水泥	外掺 3.5 5.5	0.52	25	212	河门口灰 30	1 2.519 7.561	MG 0.20	3~5	4	
R ₉₀ 200 号	峨眉 525 号大坝水泥	外掺 4.0 6.0	0.60	23	198	豆坝灰 20	1 2.429 8.197	MG 0.25	5~7	3	
R ₉₀ 250 号	抚顺 525 号大坝水泥	内含 4.28	0.47	20.5	206	~	1 2.20 8.71	塑化剂 0.20	5~7	4	
R ₉₀ 200 号	抚顺 425 号矿渣水泥	内含 4.38	0.53	21.5	191	~	1 2.49 9.37	塑化剂 0.20	5~7	4	

(2) 自生体积试件尺寸为 20 cm × 60 cm。用 1 mm 厚的镀锌白铁皮做成圆柱形桶, 并用塑料布、黄油和 1 mm 厚的橡皮, 粘贴于铁桶内壁, 然后浇筑混凝土。

(3) 试件成型完毕之后, 再用火漆、石蜡、橡皮、桐油膏灰等材料密封试件顶部和仪器电缆引出口, 最后将桶盖与其侧壁相焊接成整体。

(4) 在混凝土试件正中, 垂直对称埋入 DF-25 型大应变计 1 支, 用 SBQ-2 型水工比例电桥量测其变形。

2.2.2 试验方法

试验方法和试验结果处理, 均按照《水工混凝土试验规程 SD105-82》有关规定进行。

3 试验结果及其分析

3.1 内含氧化镁水泥混凝土自生体积变形的试验成果

采用抚顺 425 号矿渣和抚顺 525 号硅酸盐大坝高镁(内含 MgO 4.5% 左右)水泥浇筑的白山大坝内部()和基础()混凝土的自生体积变形过程线示于图 1。从长期试验结果可以看出:

(1) 白山大坝基础和内部混凝土的自生体积变形均为正值, 即产生了膨胀型的自生体积变形。从试验数据看, 自生体积膨胀变形量的 85% 是发生在 7 d 龄期以后, 说明两种水泥具有延迟性微膨胀性能。这种后期膨胀变形, 正好产生在坝体降温明显阶段, 对补偿大坝混凝土降温收缩是很有利的。

(2) 两种水泥混凝土的自生体积膨胀变形随着时间的增长而逐渐增大, 自生体积膨胀变形曲线连续、变化均匀、波动极小、曲线比较光滑。其中内部混凝土的变形平均发展速度较快, 最初 3 个月的自生体积膨胀变形可达最大值的 50%, 一年为最大值的 75%, 3 年可为最大值的 90% 以上, 其后的自生体积膨胀变形发展非常缓慢, 变形增长很少。从 20 年的试验观测资料看, 内部混凝土的膨胀变形早已达到稳定, 再从图 1 看, 在观测时间为 4~5 年时, 就可以视其膨胀变形已经接近稳定状态。另外, 基础混凝土的变形发展速度较慢, 稳定时间较长, 大约观测到 5~6 年时间才基本稳定。

(3) 试验结果表明, 内部混凝土自生体积变形的发展速度和绝对膨胀值都比基础混凝土大。即矿渣水泥混凝土的自生体积变形, 4 个试件到第 10 年末的膨胀变形范围是 (85.4, 102.5, 110, 123) × 10⁻⁶,

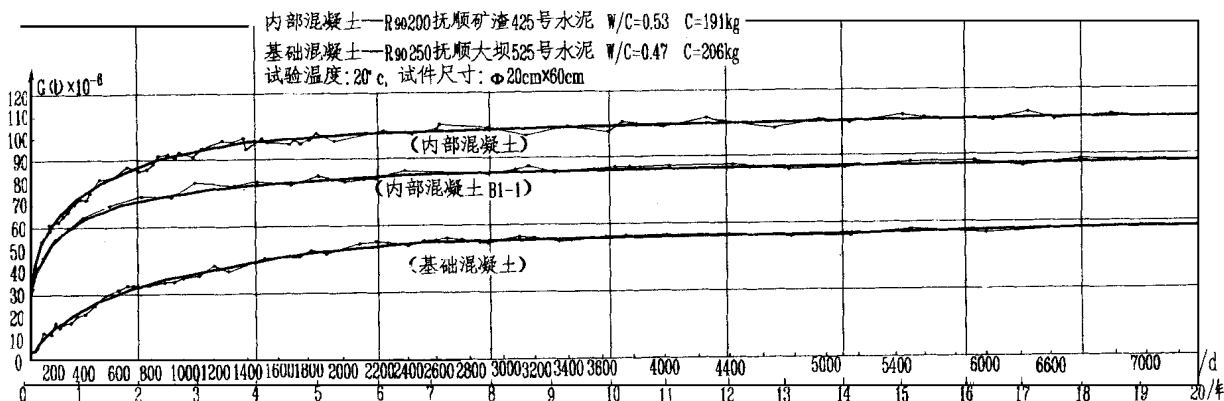


图1 内含氧化镁水泥混凝土的自生体积变形过程线图

平均值为 105.2×10^{-6} ; 20年的平均值为 108.6×10^{-6} , 其最大值为 127×10^{-6} , 最小值为 87.4×10^{-6} (B1-1)。抚顺大坝水泥混凝土的自生体积变形, 4个试件 20年的平均值为 59.8×10^{-6} , 其最大值为 82.4×10^{-6} , 最小值只有 43.4×10^{-6} , 因受成型温度和水化温升的影响, 其膨胀值大约要小一半左右。这与在白山大坝埋设的无应力计所测结果一致。

(4) 混凝土的自生体积变形, 其实质是化学反应而引起的。由于水泥的化学成分不同, 混凝土会呈现出不同的自生体积变形。抚顺大坝和矿渣水泥的熟料中的 MgO 含量较高分别为 4.28% 和 4.38%, 当水泥熟料中 MgO 含量较多时就会形成方镁石晶体, 由于方镁石水化在生成 $Mg(OH)_2$ 的过程中, 使硬化水泥浆体产生体积膨胀。微观研究结果^[1]表明, 抚顺水泥熟料中不仅含有高达 2% 以上的方镁石晶体, 而且方镁石产生了水化作用, 并发现水泥浆体及大坝混凝土中含有 $Mg(OH)_2$ 晶体。微观分析说明, 在水泥浆体中只要有少量的方镁石水化而生成 $Mg(OH)_2$, 就可能产生明显的体积膨胀。事实上已测得白山大坝混凝土产生了自生体积膨胀。因此可以认为抚顺水泥熟料中的方镁石水化是其水泥具有微膨胀性能的主要原因。

(5) 通过 20 年的试验观察说明, 抚顺大坝和矿渣内含高镁水泥混凝土的自生体积变形过程是逐渐稳定增长的, 其过程线是连续均匀变化的, 均无突变现象产生。从高温试验结果表明, 水泥中的 MgO 只要水化反应完了, 其膨胀变形即告终止, 无论其环境温度湿度再怎样变化, 都不会再出现膨胀现象, 并长期保持稳定状态, 它既不会产生无限膨胀, 又不会出现回缩现象, 其长期膨胀变形能总是趋于稳定的。

3.2 外掺氧化镁水泥混凝土的自生体积变形试验结果

采用峨眉 525 号普通硅酸盐水泥 (), 渡口 525 号硅酸盐大坝水泥 (), 峨眉 525 号硅酸盐大坝水泥 (), 外掺轻烧 MgO 混凝土的自生体积变形过程线示于图 2, 从试验结果可见:

(1) 峨眉大坝和普通水泥未掺 MgO 混凝土的自生体积变形都是收缩的, 而且大坝水泥的收缩变形 (-M-O) 比普通水泥的小 (-M-O 略)。当试验龄期为 1 年、5 年和 10 年时, 两种混凝土自生体积变形的收缩值分别为 15×10^{-6} , 22×10^{-6} , 42×10^{-6} 和 22×10^{-6} , 42×10^{-6} , 64×10^{-6} 。据多次试验结果表明, 峨眉水泥是一种收缩型的水泥品种, 并具有钙矾石的变形性能, 即试验初期 30 d 前具有膨胀性质, 可膨胀 22×10^{-6} , 其后的变形才开始逐渐的缓慢收缩。

(2) 峨眉大坝水泥 () 和普通水泥 () 外掺 MgO 后都产生了膨胀型的自生体积变形。其变形规律是: 初期 7 d 前的自生体积膨胀变形增大, 7 d 到 30 d 的自生体积变形, 因受其补偿收缩的影响而呈减小趋势 (见 -M-4), 尔后的自生体积膨胀变形逐渐稳定增大。从图 2 可见, 变形过程连续均匀, 一年后的膨胀变形曲线平缓, 变形规律比较好。从 10 年龄期的观测结果看, MgO 掺入 4% 及 6% 的大坝水泥和掺入 5.5% MgO 的普通水泥混凝土的自生体积膨胀变形分别为 89×10^{-6} (-M-4)、 152×10^{-6} (-M-6) 和 61×10^{-6} (-M-5.5)。可见大坝水泥的自生体积膨胀变形都比普通水泥的大, 这是因为大坝水泥的收缩小于普通水泥, 收缩小所需补偿量就少, 所以抵销补偿收缩后, 会呈现出较大的自生体积膨胀变形, 这说明水泥品质对膨胀量的影响较大。

若将 MgO 掺入普通水泥中的方法即干掺法与水掺法比较, 在试验龄期 600 d 前, 干掺 MgO 混凝土的自生体积膨胀变形大于水掺的, 其后两者的变

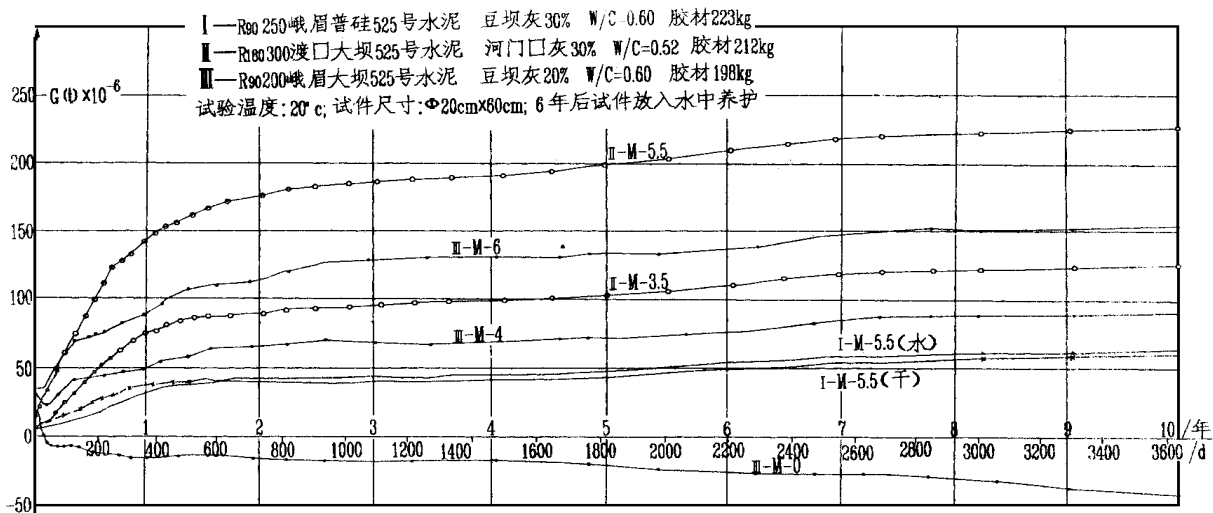


图 2 外掺氧化镁混凝土的自生体积变形过程线图

的变形相差不大,但水掺的膨胀变形稍大于干掺的,如 10 年龄期,干掺法与水掺法的自生体积膨胀变形分别为 61×10^{-6} 和 64×10^{-6} ,两者仅相差 3×10^{-6} 。

(3) 渡口水泥外掺 MgO 混凝土的自生体积变形规律较好,其膨胀变形量较大。因为渡口水泥具有微膨胀性质,根据多次试验结果,通常其自身的膨胀变形量可达 30×10^{-6} 左右。所以当外掺 3.5% 至 5.5% MgO 后的自生体积膨胀变形较不掺的在龄期为 5 年时可增大 2.5~5.5 倍,龄期 10 年可增大 3~6 倍(见图 2 中的 -M-3.5 及 -M-5.5 曲线)。

(4) 几种水泥混凝土的自生体积变形都随 MgO 掺量的增加和观测龄期的延长而增大。但水泥品种不同,它们的自生体积变形量、变形规律以及变形过程线的差别较大(见图 2 曲线)。各种水泥混凝土自生体积变形的长期变化规律较好,其膨胀都是连续均匀逐渐增大的。从 8 组 16 个试件长达 10 年的观测结果看,自生体积变形过程线均无回缩或突变急剧膨胀现象产生,这证明外掺 MgO 混凝土的自生体积膨胀变形是很稳定的,在 3 年后不会再产生二次性膨胀。

(5) 长期试验结果还表明,在观测时间 3 年之后,混凝土的自生体积变形一般还可能有 10%~15% 的缓慢膨胀增加。如果前期膨胀变形较大,其后期的变形增长较小,反之变形增加稍大。但在实际工程中的混凝土由于内部存在有一定的孔隙,为 MgO 的后期膨胀留有缓冲余地,可以大大减轻膨胀的影响。但在实际工程中方镁石的水化更充分膨胀

较快,其变形稳定时间可能要早些,如东风工程和铜街子工程埋设的无应力计观测龄期已达 7~8 年,其后期的自生体积膨胀变形量基本上是维持或稳定在一年的膨胀变形值范围不再变化。再说 MgO 的水化反应过程是逐渐的一次性反应,而水镁石的溶解度又较 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的小 200 余倍,所以其水化生成物是很稳定的。另据不同温度条件下的试验结果和前苏联 10 年的观测资料说明,外掺 MgO 水泥净浆和砂浆试体的长期变形曲线是连续稳定增长的,变形过程也未产生回缩或急剧膨胀现象,在 3 年后也未出现二次性膨胀,其膨胀变形总是长期保持稳定状态。

(6) 长期研究说明,外掺 MgO 水泥的膨胀性能主要决定于 MgO 膨胀剂的膨胀性能。方镁石的水化速度和膨胀量则与很多因素有关,如与煅烧温度、高温下的停留时间、水化温度和粒度以及煅烧工艺有着密切的关系外,还与水泥品种、熟料组成、游离 CaO 和铝酸钙含量、水泥细度、混合材种类与掺量、MgO 的细度、掺量、掺入方式及在水泥中分布均匀程度以及水泥的储存时间等因素有关^[2]。试验研究表明,温度对方镁石的水化速度影响很大,养护温度越高,膨胀量越大,在常温下水化愈慢的方镁石温度对其水化速度的影响就愈大。MgO 的粒度越细,在水泥中分布得越均匀,其膨胀率就愈小。实践证明,煅烧温度高的轻烧镁的活性指标大,掺入水泥中的压蒸膨胀率也大,然而水泥净浆试体的膨胀率却小,混凝土的自生体积膨胀变形也小。通过长期研究和工程实践表明,MgO 的质量和膨胀性能是完全可以控

制的。

4 长龄期对氧化镁混凝土力学强度的影响

长龄期 MgO 混凝土的抗压强度试验是在下述条件下实现的:即将自生体积变形试件和徐变试验中的对比试件,据不同养护龄期,经加工成 15 cm 立方体试件,然后测定其抗压强度。如试验龄期为 2 年的江山水泥,掺 MgO 为 4% 和 6% 的混凝土抗压强度比不掺 MgO 的分别提高 7.5% 及 14.6%;在相同龄期与试验条件下,峨眉水泥则分别提高 5.3% 和 12.0%。这说明掺 MgO 混凝土的长期力学强度是安定的。

表 3 列出了两种内含 MgO 水泥()和外掺 MgO 水泥()混凝土长龄期的实测抗压强度,若以

表 3 氧化镁微膨胀混凝土长龄期的力学性能表

配比 编号	试验 指标	试验龄期 / d					试验龄期 / 年						
		3	7	28	90	180	1	2	3	4.1	7.5	10	12
							365	730	1 080	1 509	2 744	3 600	4 320
	抗压强度/MPa	12.20	15.70	26.58	30.50	33.15	33.34	32.17	32.10	32.07	31.87	32.75	~
	弹性模数/CPa	11.8	16.0	22.1	24.1	24.9	26.0	27.2	28.2	29.1	29.8	30.2	~
	抗压强度/MPa	~	5.90	14.22	21.97	25.00	25.11	24.81	23.93	24.67	23.64	24.00	24.22
	弹性模数/CPa	~	15.0	19.6	23.7	26.3	28.2	29.4	30.1	30.4	30.6	30.8	31.0
	抗压强度/MPa	~	13.38	23.80	34.64	36.61	40.80	~	~	(5年) 39.54	~	38.89	~

明:氧化镁微膨胀水泥混凝土的长期力学性能是安定的,微膨胀对混凝土力学性质的影响不大。

5 结论

(1) 长期研究说明,提高水泥生料的 MgO 含量,烧成高镁熟料,再粉磨成高镁水泥;或加入适量粒状轻烧 MgO 与水泥熟料混合粉磨或将磨细的粉状 MgO 膨胀剂直接掺入水泥中,均能制得 MgO 膨胀水泥。就是说 MgO 能适应多种方法掺入任何水泥,都能够产生膨胀。MgO 的质量、掺量、膨胀速率、膨胀量、膨胀稳定时间以及外掺均匀性都是可以控制的,只要改变混合材料种类和掺量,即可控制 MgO 混凝土的膨胀速率及膨胀量。

(2) 长期实践表明,MgO 混凝土的自生体积膨胀变形是随着 MgO 掺量的增加而增大,随观测龄期的延长而稳定增加。在大体积混凝土中,掺入特制的 MgO 膨胀剂或用 MgO 膨胀水泥,利用其特有的后期微膨胀性能来补偿混凝土坝的收缩和温度变形,以

防止产生裂缝,可以说是温控防裂的有效措施,也是根本的途径。
(3) 通过长达 20 年的混凝土自生体积变形观测和 12 年龄期力学与变形性能试验结果说明,MgO 水泥混凝土的自生体积膨胀变形是稳定的,它既不会产生无限膨胀,又不会出现回缩现象,其长期膨胀变形能总是趋于稳定的。MgO 混凝土长龄期的力学性质是安定的,微膨胀对混凝土长期力学性能的影响不大。通过 10 年的长期观测说明,外掺轻烧 MgO 混凝土的自生体积膨胀变形是很稳定的,不会产生二次性膨胀,其膨胀变形过程线也是比较理想的。

通过上述长龄期混凝土力学强度的试验结果说

明:氧化镁微膨胀水泥混凝土的长期力学性能是安定的,微膨胀对混凝土力学性质的影响不大。

配比()1 年的强度为基准值,则龄期为 2 年至 12 年的 11 组的抗压强度略有降低,其降低范围在 (1.2%~5.8%) 以内,平均只降低了 3.4%。这是因为试件长期处于密封绝湿状态,又长期置于徐变室内绝湿条件养护所导致的结果。如果将龄期 10 年和 12 年的抗压强度与 1 年的强度比较,分别只降低了 1.8% 和 3.5%。再将配比 外掺 MgO 的龄期为 5 年和 10 年的抗压强度与其 1 年的强度比较,分别也只降低了 3.1% 和 4.7%。大量实践说明,如果混凝土的自由膨胀率控制在 500×10^{-6} 以内,一般膨胀变形对混凝土强度的降低不会有多大的影响。再者表 4 中长龄期的弹性模量还一直保持增长趋势,其值也未出现降低现象。况且用于大体积混凝土的补偿收缩膨胀量只需要 200×10^{-6} 左右就能满足要求。

防止产生裂缝,可以说是温控防裂的有效措施,也是根本的途径。

(3) 通过长达 20 年的混凝土自生体积变形观测和 12 年龄期力学与变形性能试验结果说明,MgO 水泥混凝土的自生体积膨胀变形是稳定的,它既不会产生无限膨胀,又不会出现回缩现象,其长期膨胀变形能总是趋于稳定的。MgO 混凝土长龄期的力学性质是安定的,微膨胀对混凝土长期力学性能的影响不大。通过 10 年的长期观测说明,外掺轻烧 MgO 混凝土的自生体积膨胀变形是很稳定的,不会产生二次性膨胀,其膨胀变形过程线也是比较理想的。

参考文献

- 袁美栖、唐明述. 吉林白山大坝混凝土自生体积膨胀机理的研究. 南京化工学院学报, 1984
- 崔雪华、刘 峥、邓 敏、唐明述. 氧化镁延迟性膨胀水泥的膨胀规律及其影响因素. 南京化工学院学报, 1989

作者简介

李承木 男 国家电力公司成都勘测设计研究院科研所 高级工程师

(收稿日期:1997-09-22)

Design of Impervious and Drainage Systems for Underground Powerhouse at Ertan Hydropower Station

Fan Xiangrong

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute ,State Power Company ,Chengdu ,610072)

Abstract Design of impervious and drainage systems for underground powerhouse at Ertan hydropower station is presented. The underground powerhouse complex is a gigantic project ,powerhouse is immediately adjacent to reservoir and seepage flow conditions are complex. Therefore , it is essential to take seepage control measures for cavern rock stability and safe operation of the power station.

Key words Ertan hydropower station ,underground powerhouse ,seepage control and drainage ,curtain

Deformation and Supporting of Surrounding Rock in Caverns of Underground Powerhouse complex at Ertan Hydropower Station

Li Zhenggang

(Ertan Engineering Corporation ,Panzihua ,Sichuan ,617000)

Abstract Caverns in underground powerhouse complex at Ertan is of a massive scale with the longest span and length in the world. Due to high in situ stress in the powerhouse area ,important deformation of local surrounding rock ,rock burst ,shotcrete spalling occur during excavation. Systematic rock bolt support and shotcrete were carried out for the surrounding rock and reinforcement was done locally for rock stability. Supporting force for surrounding rock is determined by Q value of rock quality. It is an example for design of supporting strength.

Key words Ertan hydropower station ,underground powerhouse ,high in situ stress ,deformation of surrounding rock ,rock bolt support and shotcrete ,support strength

Tension Test and Result Analysis on 3000 kN Anchorage Cable on Upstream Slope of Stilling Basin at Xiaolangdi Waterconservancy Project

Li Xiangdong Ma Bangkai

(The 7th Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering of China ,Pixian ,Sichuan ,611730)

Abstract Installation of anchorage cable on upstream slope of stilling basin at Xiaolangdi project was carried out under difficult geological conditions. Insitu tension test was conducted first to ensure anchorage meeting design requirements. From test ,the relationship of cable free end , anchor pier ,foundation deformation and cable creep with load is revealed and rational design force for anchorage cable is proved.

Key words rock anchor with prestress without bond ,tension test ,creep degree

Problem of Drainage in Dam Foundation of High Arch Dam

Zhang Wenzhuo

(Kunming Hydroelectric Investigation and Design Research Institute ,State Power Company ,Kunming ,650051)

Abstract By analysis on example of project defeats and on the Casagrande Theory ,a elementary introduction on purpose ,arrangement ,mode and parameters for drainage in dam foundation of high arch dam is presented. The drainage parameters are so difficult to be determined that data from some projects in China and abroad are analyzed. Preliminary knowledge is gained finally and suggestions are proposed.

Key words arch dam ,dam foundation ,drainage ,seepage pressure ,grout

Long - term Study on Autogenous Deformation of Concrete Added with MgO

Li Chengmu

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute ,State Power Company ,Chengdu ,610072)

Abstract Test and experiment for autogenous deformation of concrete added with lightly burnt MgO and inside MgO observed for 10 years and 20 years are provided. Test of mechanical and deformation properties during 12 years proves that long - term mechanical property for concrete with MgO is stable and not so much effected by slight expansion.

Key words added MgO ,inside MgO ,autogenous deformation ,concrete with MgO ,deformation by expansion