

锂盐渣混凝土性能研究及应用

胡平¹, 甘艳华²

(1. 四川明珠集团有限责任公司, 四川 射洪 629200; 2. 中国水利电力第八工程局施工研究所, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 锂盐渣是一种良好的人工火山灰材料, 用于混凝土中能显著改善和提高其性能, 基本达到 HPC (高性能混凝土) 的技术要求, 并能节约水泥用量, 降低工程造价。除可以在一般混凝土和大体积混凝土中使用锂盐渣外, 还可用于配制各种特种混凝土。四川涪江金华水电站利用锂盐渣作为掺合料应用于混凝土中已取得成功并通过省级鉴定。

关键词: 锂盐渣; 混凝土性能; 配合比; 金华水电站

中图分类号: TU 528. 2

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(1999)03-0087-03

1 概述

锂盐渣是利用锂辉矿石经 1 200 °C 煅烧后生产碳酸锂(锂盐)的副产品, 其主要成份为氧化硅、氧化铝、氧化钙等, 并含有 6% 左右的三氧化硫。世界上锂辉石精矿储量最大的国家是中国, 而四川又是我国锂辉石精矿储量最丰富的省份。在 80 年代以前, 新疆是我国锂盐的主要生产地, 进入 90 年代以后, 随着四川明珠集团锂业公司等企业的崛起, 锂盐生产重心已有向四川转移的趋势。

在现代建筑工程中, 生产和使用高性能混凝土(HPC)已有高技术的含义。由于锂盐渣含有较多的无定形二氧化硅、三氧化二铝等, 具有较高的火山灰活性, 且价格低廉(目前低于粉煤灰), 作为掺合料用于混凝土中, 可以使锂盐渣混凝土基本达到 HPC 的技术要求, 可取得很好的技术经济效益。四川明珠集团公司结合涪江金华水电站的建设, 对锂盐渣混凝土进行了大量的试验研究, 并逐步在工程中推广应用, 取得了较好的技术和经济效益。

2 锂盐渣的物理性能和化学成份

2.1 颜色

浅黄色。

2.2 流变性

锂盐渣的容重略大于硅粉, 但小于水泥, 因此同硅粉一样, 如果以锂盐渣取代部分水泥时, 在质量不变的前提下, 加入的锂盐渣的体积要比被代替的水泥的体积大一些, 浆体的体积要增大, 故一定量的水泥被相同质量的锂盐渣取代后成为锂盐渣混凝土, 其流变性要发生变化。但同硅粉混凝土比较而言, 其变化不是十分明显。

2.3 细度(见表 1)

表 1 锂盐渣颗粒级配分析表

筛孔尺寸 /mm	> 0.16	0.16~0.08	0.08~0.045	< 0.045
累计筛余量 /%	4.84	14.62	2.34	78.20

2.4 含水量

根据锂盐生产的工艺流程, 目前工厂采用湿排方式排放锂盐渣并露天堆放, 锂盐渣中含有一定的水份, 最大可达 30% 以上。但锂盐渣干燥后(含水 < 10%)自身有结块现象, 故保持适当水份很有必要。一般用汽车将锂盐渣散装运至工地, 亦可对锂盐渣适当加工后包装出厂。对各种含水量的锂盐渣作了分散性试验, 在拌合时间 3 min 内, 锂盐渣均易于在水中分散, 更易于在混凝土中拌合均匀。

2.5 化学成份(见表 2)

表 2 锂盐渣化学成份分析表

项目	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	烧失量
测值/%	58.37	0.49	15.34	6.85	0.68	6.09	7.62

由表 2 可见, 锂盐渣中 SO₃ 含量较高, 根据《水工混凝土施工规范》SDJ207-82 要求, 以胶凝材料总量中 SO₃ 含量不超过 3.5% 作为控制条件, 试验研究用粉煤灰(F)同锂盐渣(Li)联掺方式进行。从所调查的近十个水泥厂的水泥和两个电厂的粉煤灰来看, 其 SO₃ 含量都很低, 该条件容易达到。

3 化学反应

掺入到硅酸盐水泥浆体中的锂盐渣发生水化反应, 同硅粉、粉煤灰一样, 仍是以存在 Ca(OH)₂ 为条件, 生成稳定的硅酸钙水化物(CSH)凝胶及水化铝酸钙。锂盐渣的另一个特点是含有较多的硫酸根离子(SO₄²⁻), 易与水化铝酸钙化合生成水化硫铝酸钙(也称钙矾石), 这是一种尺寸仅为几个微米的结晶体, 填充于水泥结石的毛细孔或气孔中, 使结构更为致密, 故硬化混凝土的强度和抗渗等性能有较大幅

收稿日期: 1998-08-17

度地提高,且主要表现在早期(28 d 以前)。

4 锂盐渣的活性

由表 3 可见,尽管锂盐渣与两种粉煤灰的细度和需水比接近,但其活性远大于后者,表明锂盐渣是一种高效的人工火山灰材料。

表 3 锂盐渣火山灰活性与需水量(与粉煤灰比较)表

项目	品 种		
	锂盐渣	粉煤灰 a	粉煤灰 b
细度/%	21.8	18.8	22.0
需水比/%	107.2	104.8	112.8
强度比/%	114	72.4	76.6

5 锂盐渣混凝土的性能和耐久性

5.1 拌合物的性能

5.1.1 颜色

同常规混凝土比较,变化不大。

5.1.2 稠度

显得较粘稠,不易分离,但不象硅粉混凝土那样十分粘稠,这对拌合工艺、浇筑施工影响均不大。

5.1.3 泌水性

同硅粉一样,锂盐渣与水有较强的亲合力,拌合物中自由水存在较少,泌水性减小,易振捣密实。对新浇筑的锂盐渣混凝土养护很重要,要防止表面水份损失而产生裂缝。

5.2 硬化混凝土的性能

5.2.1 强度

锂盐渣对混凝土强度的贡献,主要表现在 3~28 d,较粉煤灰优越。在水灰比一定的条件下,混凝土强度随“F+Li”掺量的增加而降低;在水灰比和“F+Li”总掺量不变的前提下,强度随 Li 掺量的增加而增加,见图 1。

5.2.2 抗渗性能

锂盐渣能大大提高混凝土的抗渗性能,见表 4。

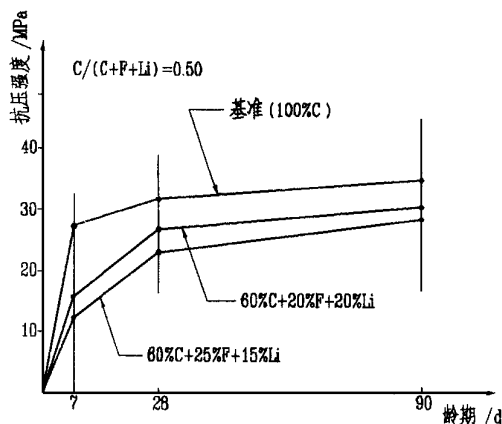


图 1 锂盐渣对混凝土强度的影响图

这可能同锂盐渣混凝土具有微膨胀、内部结构致密有关。

表 4 混凝土抗渗试验成果表

序号	外加剂		掺合料/%		水胶比	龄期 /d	抗渗标号 /MPa
	A %	b/万	F	Li			
1	0.5	0.6	20	10	0.50	28	> 1.2
2	0.5	0.6	20	20	0.50	28	> 1.2
3	0.5	0.6	20	15	0.60	28	> 1.2
4	0	0	0	15	0.55	28	> 0.6

注:序号 4 的相对渗透系数为 $S_k = 0.188 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 。

5.2.3 变形性能与应力应变

拉伸变形和弹性模量是表示混凝土性能的特征值之一,对混凝土的抗裂性影响明显,提高极限拉伸值可增强混凝土抗裂性。锂盐渣掺入混凝土中,具有较高的极限拉伸值,且随着掺量的增加,其极限拉伸值增加明显,而弹性模量却有降低趋势,这对混凝土自身防裂很有利。锂盐渣混凝土的干缩值也较小,在水胶比 0.50、锂盐渣掺量 10%~15% 的情况下,180 d 的干缩值在 $(2.50 \sim 2.75) \times 10^{-4}$ 之间。

5.2.4 自身体积变形

锂盐渣混凝土具早期微膨胀性,见图 2,这是由于锂盐渣中的 SO_3 (硫酸盐) 和 Al_2O_3 与水泥水化反应产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及 C_3A 化合生成具有膨胀性的水化硫铝酸钙,且这种反应主要发生在 28 d 前。氧化镁混凝土膨胀性主要发生在 28 d 后,属延迟性膨胀,相比较而言,锂盐渣混凝土具有更好的抗裂性。

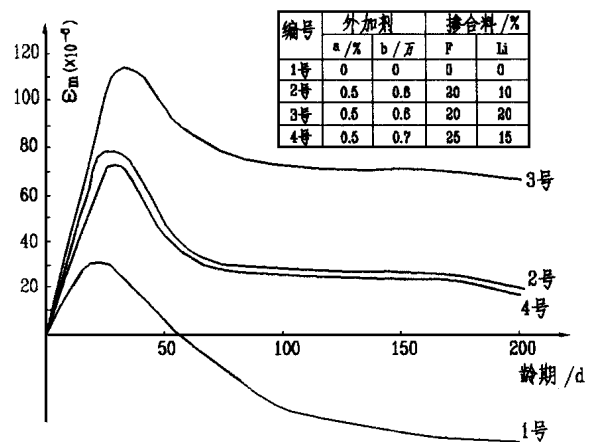


图 2 锂盐渣混凝土自生体积变形图

5.2.5 抗冻性

根据《水工混凝土试验规程》(SD 105-82),在水胶比 0.50~0.60 条件下,对掺 10%~20% 锂盐渣混凝土进行快冻法抗冻试验,其抗冻标号均大于 D125,且在冻融循环 125 次后的相对动弹性模数仍达 91.4%~96.2%,估推抗冻标号可达 D200 以上。

6 环保及放射性指标

6.1 对工作环境的影响

由于锂盐渣中含有一定的水份,在拌合现场掺加,对工作环境没有不良影响。如完全干燥并袋装的锂盐渣,可适当考虑防尘措施。对锂盐生产厂家而言,由于锂盐渣成为商品,解决了其排放问题,避免了对厂区和周边地带的粉末危害和对地下水的侵蚀,从而改善了生产环境。

6.2 放射性指标

6.2.1 表面 γ 照射量率

根据国标《建筑材料用工业废渣放射性物质限制标准》(GB 6763-86),委托卫生防疫部门对工厂锂盐渣和锂辉矿堆场及在使用大量锂盐渣混凝土的建筑物(大坝)进行检测,其表面 γ 照射量率均小于国家标准,见表5。

表5 表面 γ 照射量率检测值表($\times 10^{-9}$ c/kg·h)

检测样品	锂辉矿	锂盐渣	粉煤灰	大坝混凝土
测值	1.91 \pm 0.06	1.42 \pm 0.14	2.99 \pm 0.07	1.78 \pm 0.06

注:测试单位为四川省放射卫生防护所。

6.2.2 比放射性活度

根据国标《建筑材料放射卫生防护标准》(GB 6566-86),对锂盐渣及粉煤灰取样进行比放射性活度检测,其指标均满足规范要求,且锂盐渣的值大大低于粉煤灰(关口电站灰),见表6。

表6 比放射性活度检测值表(Bq/kg)

样品名称	^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
锂盐渣	8.47 \pm 1.60	8.10 \pm 1.63	20.90 \pm 6.81
粉煤灰	126.94 \pm 4.28	104.57 \pm 4.28	758.39 \pm 22.69

注:测试单位为四川省放射卫生防护所。

7 锂盐渣混凝土的应用

7.1 一般应用

在一般混凝土、特别是大体积混凝土中,掺用锂盐渣可降低水泥用量,提高混凝土强度,改善混凝土性能。特别在水电工程中,由于粉煤灰应用已较广泛,与锂盐渣联掺可取得更好的效果。在同等级混凝土条件下,“Li+F”或锂盐渣混凝土比粉煤灰混凝土具有更好的技术经济指标,单位水泥用量可降低20~50 kg或更多(见表7)。这对大体积混凝土施工极为有利,可大大降低水化热,避免出现温度裂缝。

装机容量为3 \times 14 MW、于1996年10月开工的四川涪江金华水电站,自1997年9月以来,在大坝、船闸等部位全面应用锂盐渣混凝土,至1999年4月底,已累计浇筑17.5余万 m^3 ,尚未发现一根有害裂缝或类似的质量缺陷。

表7 金华水电站大坝混凝土施工配合比表

类别	设计等级 /28 d	水胶比	材料用量/kg· m^{-3}						级配
			W	C	F	Li	S	G	
F混凝土	C20	0.45	108	192	48	0	393	1686	5 3 2
"F+Li"混凝土	C20	0.45	127	169	56	56	343	1687	5 3 2
Li混凝土	C20	0.65	123	151	0	38	427	1720	5 3 2

注:"F混凝土"为1997年7月前采用的施工配合比之一。

7.2 其它应用

7.2.1 微膨胀混凝土

利用锂盐渣混凝土早期微膨胀性,在金华水电站发电厂房下部结构处采用了锂盐渣混凝土,共浇筑3.2万 m^3 。该电站三台机组段总长58.2m,每段间未设分缝,混凝土浇筑高峰时间正值夏季高温期,原已拟定使用氧化镁混凝土,在及时改用锂盐渣混凝土后,消除了各种不利因素影响,使用效果良好。

7.2.2 抗冲耐磨混凝土

金华水电站消力池护坦等部位要求浇筑抗冲耐磨混凝土1.58万 m^3 ,设计单位提交的施工图明确规定采用HF混凝土,在经试验论证后,采用了锂盐渣混凝土,各种指标完全满足设计要求(见表8),并正式用于工程建设。实践证明,锂盐渣混凝土是一种很好的抗冲耐磨材料,其施工也较HF或硅粉混凝土易操作得多。

表8 "金电"工程锂盐渣混凝土抗冲耐磨试验成果表

序号	掺合料/%		水胶比	龄期/d	抗压强度 /MPa	抗冲磨强度 /h· $\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	设计指标
	F	Li					
1	0	0	0.38	27	45.2	0.4697	0.55
2	10	10	0.38	27	46.7	1.6293	
3	0	15	0.38	33	52.1	0.6916	
4	0	15	0.45	33	44.8	1.3180	

7.2.3 防渗混凝土

锂盐渣混凝土具有很好的防渗性能,在金华水电站长达2 km的副坝工程(混凝土面板堆石坝)施工中,防渗墙、面板均采用了该种混凝土,总方量为3.5万 m^3 。

7.2.4 高强混凝土

掺用锂盐渣,配之以高效减水剂,使用525号普硅水泥,比较容易配制出C30~C50混凝土,国内已能用锂盐渣配制出C80混凝土。

8 结语

锂盐渣是一种很好的人工火山灰材料,在工程建设中具有广泛的用途。四川明珠集团公司结合涪江金华水电站的建设,进行了“锂盐渣混凝土(沙浆)研究及应用”科研课题研究,其成果于1997年9月

(下转第91页)

又向与之相邻的深部转移,故当基坑上部卸荷岩体开挖之后又产生新的卸荷回弹,形成二期松动带(其最低下限高程位于基坑底部 679.88 m)。由于谷底卸荷裂隙的边界条件各不相同,进而引起岩体的差异回弹,当差异回弹在岩体中造成残余剪应力,而这种残余剪应力又大于岩石的抗剪强度时,导致岩体剪切破裂,钻孔岩心成岩饼即是此种应力作用的结果。

综上所述,河床钻孔及其坑内 5 个勘探孔一定深度内岩心呈岩饼,以及清除基坑表层部分卸荷岩体后一两天又出现新的缓倾角裂隙,均有力地证明了基坑底部应力集中区的存在。

鉴于谷底存在地应力集中,基坑底部的卸荷岩体难以完全清除,因此,建议增加坝基固结灌浆孔孔深,即由原建基面 684.5 m 高程以下孔深 7 m 增加

(上接第 86 页)

行了垂直方向的测量。上游侧试验测点 2 的变形读数见表 4。该点为地下厂房中地质条件最差部位。

从表 4 中数据看出,吊车梁未产生不安全变形,试验结果表明二滩电站岩台吊车梁是安全可靠的。

6 结论及建议

二滩水电站目前已有 3 台机组正式发电。经过机组吊装实践,岩台吊车梁未产生不安全变形,表明设计是成功的。

利用岩台作为吊车梁的支承结构,除了要有好的岩石条件外,关键是要有先进合理的支护设计并保证岩台开挖成型。为达到这一目的,岩台开挖应有

(上接第 89 页)

通过了由四川大学水利系、四川省水电厅等单位专家的咨询审定,并正式在金华水电站工程建设中使用,至 1999 年 4 月底,累计浇筑锂盐渣混凝土 25.75 万 m^3 ,解决了施工中的数项技术难题,确保了首台机组 26 个月如期投产发电,创四川同类电站建设的新记录,并节省工程投资 414 万元,目前工程已近尾声。1999 年 5 月 29~30 日,该课题又通过了由四川

到现建基面 687 m 高程以下 15 m,绝对增加固结灌浆孔孔深 8 m,同时进行钢筋笼锚固桩处理,以增加坝基岩体的整体强度,减少岩体的不均匀变形。

5 结束语

对基坑缓倾角裂隙成因的正确认识,是坝基混凝土得以顺利浇筑的关键。若认为是施工爆破所致,必须要求清除基坑底部卸荷回弹岩体,即二期松动岩体,清除后岩体中又出现新的缓倾角裂隙,形成三期松动带,这样便成了清基-卸荷-清基周而复始的简单劳动,延误了基坑混凝土的浇筑。反之,认清了形成缓倾角裂隙成因的症结所在,针对问题及时调整施工方案,不仅减少了开挖量和工程投资,而且缩短了工期。

作者简介:

吴德双,男,水利部四川水利水电勘测设计研究院,工程师,学士

先进的施工技术、合格的设计和施工队伍,严格控制爆破、分层分序开挖。在这一前提下,吊车梁本身主要为受压构件,大都按构造配置钢筋,在整个吊车梁安全方面不起控制作用。

二滩电站的实践证明:好的岩石条件、合理的设计、严格的施工管理是岩台吊车梁成功的保证,三者缺一不可。

本文得到李杰高级工程师的大力支持和指导,在此深表感谢。

作者简介:

范湘蓉,女,国家电力公司成都勘测设计研究院,工程师

省科委主持的成果鉴定,鉴定意见认为:该项成果达到国内先进水平。该成果已逐步在其它工民建中推广使用,使过去视为“废渣”的锂盐渣成为供不应求的商品,技术经济效果和社会效益十分显著。

作者简介:

胡平,男,四川明珠集团有限责任公司,副总工程师,高级工程师,学士

甘艳华,女,中国水利水电八局贵阳施工科研所,所长,工程师

我国 21 世纪初实施的联网工程

据全国联网规划工作座谈会得到的消息,到 2010 年左右,我国将形成北部(华北、东北、西北及山东电网)、中部(华中、华东、川渝及福建电网)、南部(广东、广西、贵州、云南、香港、澳门、海南电网)三大电网,到 2020 年,将形成全国统一联合电网。近期将要实施的几项联网工程有:

(1) 三峡输变电工程; (2) 东北与华北联网工程; (3) 福建与华东联网工程; (4) 山东与华北联网工程; (5) 川渝与西北联网工程; (6) 华中与华北联网工程。

本刊记者 李燕辉

ABSTRACT

Engineering Geological Investigation on Complex Foundation at Tongjiezi Hydropower Station

GE Dong-hai

(Chengdu Water Resources and Hydroelectric Power Construction Engineering Company, CHDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract: The Tongjiezi hydropower station is located on rock with complex geological conditions. During entire investigation period, the special geological problems are demonstrated by advanced means and methods both domestic and abroad and with thorough and detail comprehensive analysis. Conclusions which accords with objective reality are presented to solve actual engineering problems and greater contribution is made to academic research and technical means.

Key words: major engineering geological problem; buried fault; incised river bed; deep confined water; strain-slip zone in layers

Engineering Geological Problems in Underground Excavation and Treatment at Taipingyi Hydropower Station

CHEN Weidong

(Chengdu Water Resources and Hydroelectric Power Construction Engineering Company, CHDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract: At the Taipingyi hydropower project, rock burst, collapse and major fault (shallow buried) were met in underground excavation, which are unfavorable to dam stability, safety and construction schedule. Prediction and treatment for such engineering geological conditions are studied by geologists, designers and contractors together. In the case of Taipingyi underground excavation and treatment, different engineering treatment measures were taken for different engineering geological problems by geologists, designers and contractors to construct an economically reasonable, safe and reliable project.

Key words: underground excavation; construction geology; treatment measures; rock burst; collapse

Construction Geology in International Competitive Bidding Hydropower Project

CHEN Changping

(Chengdu Water Resources and Hydroelectric Power Construction Engineering Company, CHDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract: Taking the Ertan Hydropower Project as an example, the paper presents a brief introduction on construction geological work performed under the latest contract management and project supervision system of international competitive bidding, to improve the construction geological work in the future and provide references for the projects of similarities.

Key words: the Ertan Hydropower Project; international competitive bidding; construction geology

Study on Major Engineering Geological Problems for Long Intake Tunnel with Thick Overburden in Hydropower Project

PENG Shixiong

(Chengdu Water Resources and Hydroelectric Power Construction Engineering Company, CHDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract: Taking the Qiaoqi Hydropower Project as an example, the major engineering geological problems for long intake tunnel with thick overburden in hydropower project is systematically analyzed and prediction is made to provide references for the other tunneling projects.

Key words: tunnel with thick overburden; study; prediction

Influence of High In-situ Stress on Stability of Dam Foundation Rock

YUAN Zhi-jun

(Chengdu Water Resources and Hydroelectric Power Construction Engineering Company, CHDI of SPC, Chengdu, Sichuan, 610072, China)

Abstract: The relationship between in-situ stress and stability of dam foundation rock is less considered in dam construction. For high in-situ stress occurred in Ertan dam area, combined action of initial in-situ stress field, time and space effect during excavation and external loads (arch thrust etc) on dam foundation stability are analyzed and calculated. The analysis results show that high in-situ stress is adverse to foundation pit excavation, but is favorable to dam foundation rock stability against sliding.

Key words: in-situ stress; initial in-situ stress field; time and space effect; stability against sliding; substructure coagervation

Research and Application of Lithium-salt Slag Concrete

HU Ping¹ GAN Yan-hua²

(1. Sichuan Mingzhu Limited Liability Company, Shehong, Sichuan, 629200, China; 2. The 8th Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering of China, Guiyang, Guizhou, 550001, China)

Abstract: Lithium-salt slag is a kind of nice artificial pozzolana. When this material is added in concrete, not only properties of concrete is improved obviously and basically meet specifications for HPC (High Property Concrete), but also cement content and project cost are reduced. The lithium-salt slag is used in various specially mixed concrete as well as in conventional concrete and mass concrete. The lithium-salt slag is successfully used as admixture in concrete at the Jinhua hydropower project on the Fujiang River.

Key words: lithium-salt slag; properties of concrete; mix proportion; Jinhua hydropower project