严寒气候条件下的混凝土施工技术

陈　哲，　郭增辉
（中国水利水电第五工程局有限公司，四川 成都　610066）

摘　要：严寒气候条件下的混凝土连续施工是工程建设尤其是北方寒冷地区必须解决的施工技术问题之一。目前采用的传统覆盖温保式措施效果不明显。结合项目实际，通过热力计算，采用带加热系统的整体保温棚、加热管道等措施，保证了工作面的环境温度可以满足施工要求，达到了连续施工的目的，工程质量亦得到了保障。介绍了所采用的施工技术。

关键词：严寒地区；冬季施工；混凝土保温；施工技术
中图分类号：TV51；TV52　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2019)增2-0049-04

Concrete Construction Technology in Severe Cold Climate

CHEN Zhe, GUO Zenghui
(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: Continuous concrete construction in severe cold climate is one of the construction technical problems that must be solved in engineering construction, especially in the extreme cold area of North China. At present, the effect of the traditional covering method is not obvious. Combined with the actual situation of the project, after the thermal calculation, the overall insulation shed with heating system, heating pipeline and other measures are adopted to ensure that the ambient temperature of the working face can meet the construction requirements, achieve the purpose of continuous construction, and ensure the project quality. The construction technology adopted is introduced.

Key words: severe cold area; construction in winter; concrete insulation; construction technology

1　严寒气候条件下混凝土施工技术的研究背景

该工程位于清原县境内，合同主体为3条地质勘探试验洞（以下简称探洞），分别为10＃、11＃和13＃探洞。合同中探洞施工段的投影长度分别为：10＃探洞1 136.53 m、11＃探洞1 200 m、13＃探洞1 500 m。

工程所在区域属于温带季风型大陆性气候，冬季严寒、干燥，夏季温热、多雨。清原县境内多年平均气温为6.3 ℃，最高气温37.2 ℃，最低气温－37.3 ℃（表1）。

表1　工程程所在地气温表（清原县）　/℃

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最高	7.1	14.9	20.2	28.8	33.5	35.8	37.2	37.1	31.2	29.8	21.4	12.4
最低	－37.3	－36.5	－26.3	－23.6	－4.9	2.6	9.2	3.7	－3.2	－12.6	－24.7	－34.9
多年平均	－15.5	－11.4	－1.8	7.7	14.9	19.5	22.8	21.7	14.5	6.9	－2.4	－11.6

随着社会经济的发展，越来越多的工程修建在东北等冬季严寒地区，业主对工程的工期要求越来越严格，传统的冬季停工已被冬季施工所代替，冬季施工将常态化，因此，有必要对其进行专项研究和实践，以确保冬季施工中效益不致于降的太低。

在洞挖过程中，支护施工是必不可少的工艺环节。如何确保在零下20多度的气候环境下正常锚喷支护非常重要，其中包括骨料的升温、拌和环境的保温、成品料的运输、洞室内的保温等都是冬季施工必须解决的问题[1]。

2　研究方法及主要的施工工艺

（1）施工用水的供应问题。根据项目部多方考察及研究，最终决定采取浅埋包裹的方法，该方法主要采用人工挖槽的方式，挖槽深度为50～70 cm，输水管道主要采用软管或PPR管连接，在管道外层包裹一层管道专用的保温棉，再在保温棉

收稿日期：2019-09-18

外层覆盖一层玉米杆及脱粒后的玉米棒,主要起隔温层的作用[2],最后覆土压实。

针对前期出现的冻管问题,项目部在运用过程中采用在输水管路上缠绕发热丝的做法[3],在发热丝外再包裹保温棉,当水管冻住后,对发热丝进行通电升温,从而达到解决防冻管路的作用,结果表明:该方法简便可行,效果良好,特别适合于石方不便于挖槽埋管的地方,从而保证了冬季施工的正常用水需要。

在冬季施工中,将水箱放在空压机房内可以避免水箱被冻住,确保了施工用水安全,同时,还可以根据需要并结合电源布置方便的情况,采用发热棒对水箱进行加热(或采用炉火加热),从而达到采用温水打钻、避免将手风钻水针冻死造成无法进行钻孔的问题出现。

(2)混凝土拌和系统。混凝土拌和系统的正常运行同样为冬季施工中重要的影响因素之一[4]。由于该地区冬季环境温度极低,拌和环境的升温及保温为施工措施中的重中之重。通过科研小组实地调查、文献查阅,不断地进行试验及摸索,确定了一套较为完整的施工方法,包括保温棚的结构设计、专项供暖设施、骨料预热设施等。

①保温棚的设计。保温棚的结构尺寸应根据棚内设备占地及机械运转范围确定。该工程拌和系统采用 JS500 搅拌机组,配置 LPD1200 配料仓,该机组的径向总长度为 18.5 m,宽 9 m。暖棚另一端设置一处骨料加热仓,总长度为 3 m,宽 10 m。棚内的骨料供应采用一台 ZL40 装载机上料,其最小旋转半径为 6.18 m。根据以上参数并考虑周边的富余量,将保温暖棚的尺寸确定为 40 m×15 m×8 m(长×宽×高)(图 1)。

骨架采用型钢制作,立柱为 φ200 钢管,横梁及其他框架采用 80 mm×80 mm、50 mm×25 mm 空心方钢焊接制作。保温材料采用厚 10 cm 的保温岩棉。

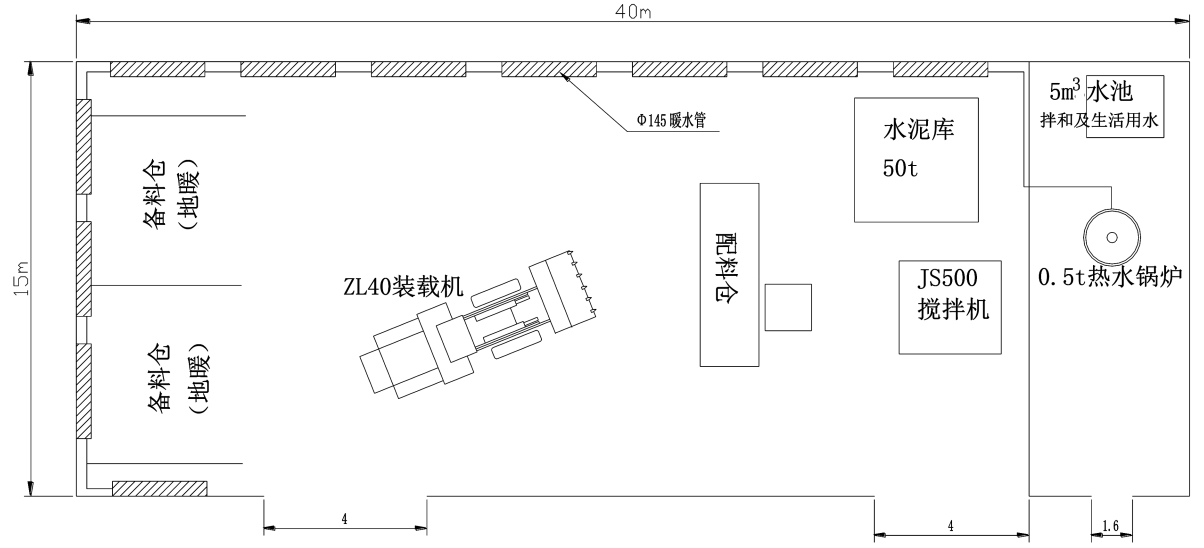

图 1　保温暖棚结构示意图

②保温棚的耗能计算。保温棚单位时间内的耗能量按下述公式进行计算[5]:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2$$

式中　Q_0 为暖棚总耗热量;Q_1 为通过围护结构各部位的散热量之和;Q_2 为由通风换气引起的热损失。

$$Q_1 = \Sigma A \times K(T_a - T_b)$$

式中　A 为围护结构的总面积(1 480 m²);K 为围护结构的传热系数,可按下式计算:

$$K = \frac{1}{0.04 + \frac{d1}{\lambda 1} + \cdots + \frac{dn}{\lambda n} + 0.114}$$

式中　$d1 \sim dn$ 为围护结构各层的厚度(10 cm);$\lambda 1 \sim \lambda n$ 为围护结构各层的导热系数(0.033 9);T_b 为室外气温,为 −15℃;T_a 为棚内气温,10℃)。

代入公式,求得 $K = 0.32$

代入 Q_1 公式,求得 $Q_1 = 1\ 1840$ W。

$$Q_2 = v \times n \times C_p \times P_p(T_a + T_b)/3.6$$

式中　v 为暖棚体积，m^3；n 为每小时换气次数，该工程棚内无换气设备，但工作门较多，故按 2 计算；C_p 为空气的比热容，取 1 kJ/kg·K；P_p 为空气的表观密度(容重)，取 1.37 kg/ m^3；3.6 为换算系数，1W＝3.6 kJ/h 。

代入 Q_2 公式，求得 Q_2＝91 333 W。

根据上述计算，求得 Q_0 为 103 173 W。

③锅炉选型。该工程冬季施工的供暖采用热水锅炉独立供暖，锅炉供暖主要考虑两个主要因素：一是供暖热能值，二是供暖面积。根据暖棚耗能计算，最终选择的锅炉供暖热能不得低于 103 173 W。

1t 热水锅炉的供暖面积根据相关资料的查询和实际调查得知，在北方大约为 6 000 m^2，而 1t 热水锅炉额定的蒸发量为 0.7 MW，流量一般为 40 t/h 左右。通常情况下，热水锅炉的温差均为 25 ℃且流量为 24 t/h。同理，0.5 t 热水锅炉的额定蒸发量为 0.35 MW。

根据公式推导，0.5 t 热水锅炉额定蒸发量为 350 000 W，按锅炉效率 0.8 计算，蒸发量为 280 000 W。因供暖面积约为 3 000 m^2，故其满足该工程保温棚的供暖需要。

(3)洞内采用的保温措施。洞内的保温主要是针对进洞后 0～150 m 段实施保温措施。由于该段距洞口较近，冷热空气交换频繁，对洞内喷护的混凝土有较大的质量影响，且该段又处于进洞段，围岩条件一般较差而更需要加强支护，因此，支护质量的保证就显得尤为重要。

洞内的保温措施主要采用洞口隔温和洞内升温两种形式。

①供暖面的热能计算。由于该工程为隧洞工程，随着进尺的加深，供暖体积不断加大，在洞内保暖过程中，通过公式计算并结合实际测温效果进行统筹调整，达到了理论与实际的平衡。

保温环境按每个单元 24 m 计算，求得体积 V＝30×24＝720(m^3)。

根据《简明施工计算手册》，环境内耗热量 Q(kJ/h)按下式计算：

$$Q = 3.6\beta M_b K(T_b - T_a)V$$

式中　M_b 为表面系数，即冷却面与外部量度保温棚的体积比(m^{-1})，经计算，得 M_b＝1.338；T_b 为保温棚内的温度(℃)，取值 5 ℃；T_a 为大气温度(℃)，按－10 ℃考虑；β 为散热系数；风速＜5 m/s 时，β＝1.25～1.5；风速＞5 m/s 时，β＝1.5～2；V 为供暖体积(m^3)，V＝720 m^3；K 为平均传热系数(W/m^2×K)，经计算最终结果为 6.49。

将其代入公式 ，求得 Q＝506 428 kJ/h。

②煤消耗量计算。标准煤的燃烧值为 29 302 kJ/kg，标准煤球每块重 950 g，燃烧时间为 2.5 h，每小时单个煤球炉散发的热量为：

$$Q_{煤球} = 11\ 134(kJ/h)$$

需要的煤球数量 N 为：

$$N = 45(个)$$

每单元需要的煤球数量为 45 个。按照自制煤炉容量 10～12 个煤球计算，共需 4 个煤炉。为保证洞内有较均衡的温度，每隔 6 m 左右设置一处煤炉，根据施工中的实测温度看，环境温度可以满足要求。

③洞口隔温措施。除在洞内取火升温外，为了更有效地保存室内环境温度，在各个洞口挂设保温门帘(图 2)，门帘采用定制棉被，框架采用 φ32 架管焊接完成。门帘采用推拉式启闭，由专人值守。洞口保温帘除门洞能够开合外，其余部位均固定于框架上。该方法有效地阻隔了暖空气的流失，减小了冷暖空气的交换效率，达到了保温效果。

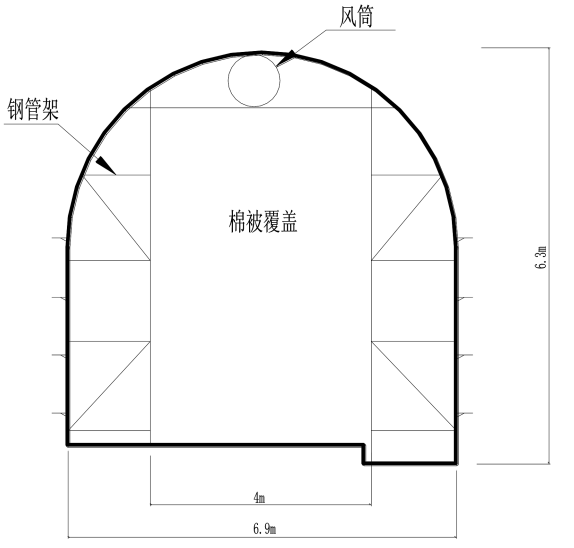

图 2　保温门帘结构示意图

④混凝土运输中的保温。辽西北工程严格采用湿喷技术进行支护，因此，无论喷护料，还是混

凝土成品料,在其运输过程中的保温成为关键,其采取的主要措施如下:a.尽可能地减少运距。辽西北工程的拌和系统均布置在洞口 20 m 范围内,以确保湿喷料在运输过程中不过多地散热。b. 在运输车搅拌罐外覆保温棉,这一措施在东北地区极为重要,市场上有专用的混凝土运输车保温棉被可以使用,从而避免了因罐体与大气直接接触对罐内混凝土造成影响。

⑤混凝土浇筑现场实施的保温措施。为保证冬季混凝土浇筑顺利进行,为混凝土浇筑创造一个良好的工作面,通过经济技术比较并借鉴当地蔬菜大棚的布置,按加热型保温大棚进行了工作面保温棚设计,其设计和施工要点如下:a. 保温棚材料采用架管搭设,计算方法采用脚手架计算式进行复核,荷载重点考虑的是风荷载及雪荷载;覆盖物采用厚型薄膜,其外覆盖当地的草帘。实践证明:其完全可以达到抗风荷载及雪荷载的需要。b. 棚内升温采用煤炉,其计算过程和方法与保温棚计算一致,棚内供热按升温-恒温的条件进行复核,重点为恒温阶段。c. 棚内安装温度计及湿度计,及时对温度和温度进行测定,并根据测量结果进行调整。

通过采取上述措施,棚内实测的环境温度可以达到 10 ℃～15 ℃,达到了施工质量要求。

(4)风筒结霜的处理措施。风筒结霜是严寒地区冬季施工出现的特有现象,其出现的主要原因是风筒内外的温差引起的,洞内温度相对于洞外温度有一个温度差,而风机压入的空气在风筒内形成一低温带,温度相对较高的洞内温度依附在风筒上冷凝成霜,严重时霜可以将风筒拉垮甚至造成通风无法进行。

从辽西北工程的处理经验看,首先应选择厚型材料制作的风筒。前期为减少成本采用薄型风筒其结霜现象极为突出,工程后期改为采用厚型风筒,情况得到了大大缓解。通过使用厚型风筒,减少了内外温度的影响,从而减少了结霜程度;其次,采用在风筒下增设煤炉等升温措施化解了霜冻,效果极为明显;最后,对于局部地方,可以采用手执暖风机进行化霜处理的方式,效果亦较明显。

3　结　语

该工程由于冬季能够正常施工,故整体工期节约了 4 个月时间,达到了冬季混凝土支护施工的质量要求,保证了施工安全。由于冬季严寒施工存在投入大、产出低的特点,因此,在严寒地区存在季节性施工的特点,冬季一般不进行施工,但根据国情,许多业主基于多方考虑和任务需要,要求施工单位在严塞季节进行作业,从而对施工单位提出了更高的要求,而这正是彰显施工单位技术实力的大好时机,社会效益远远大于经济效益,因此,各单位均应予以高度重视。

参考文献:

[1] 郭子飞.严寒地区隧道保温施工工序与施工技术[J].工程技术,2017,35(3):33－35.

[2] 姚　伟,徐林生.寒区隧道工程的研究现状[J].四川建筑,2011,31(4):118－121.

[3] 吕康成,崔凌秋.冬季冻区隧道渗漏与冻害防治研究[J].公路,2005,11(6):194－198.

[4] 马晓良,董新平.寒冷及严寒地区隧道冻害安全机理及防治[J].地下空间与工程学报,2014,10(增 2):148－150.

[5] 铁道部,铁路工程设计技术手册.隧道[M].北京:中国铁道出版社,1995.

作者简介:

陈　哲(1983-),男,陕西汉中人,项目总工程师,工程师,从事公路、桥梁、隧道施工技术与管理工作;

郭增辉(1993-),男,河南宁陵人,助理工程师,从事建筑工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

新疆恰木萨水电站首台机组并网发电

9 月 23 日 16 时,由水电五局承建的恰木萨水电站首台机组并网发电。新华公司恰木萨项目总经理黄浩、公司副总经理贺祝出席"恰木萨首台机组并网发电"庆典。恰木萨水电站首台机组于 2019 年 9 月 5 日开始充水试验,9 月 8 日现场召开启动委员会会议,9 月 12 日首次开机,9 月 18 日完成耐压试验,具备并网发电条件,经与喀什电网公司多次沟通协商,电站终于获得并网调试机会。电站将在喀什电网公司规定时间内完成所有机组并网调试试验,为水电站启动正式商业运行奠定基础。

2017 年 5 月,工程顺利完成一期围堰填筑施工。2019 年 3 月,二期导截流目标如期实现。2019 年 9 月初,恰木萨水电站实现下闸蓄水目标。恰木萨水电站装机容量为 203 兆瓦,多年平均年发电量 6.2 亿千瓦·时,年利用小时数为 3 054 小时,工程总投资 19.53 亿元。电站建设期间,每年为当地带来 800 个临时就业岗位,有效帮助了当地农牧民增收,电站建成后向南疆四地州电网供电。