

万家寨引黄工程泵站压力隧洞裂缝成因及处理

赵廷式

(山西省万家寨引黄工程管理局, 山西 太原 030012)

摘 要:山西省万家寨引黄工程泵站压力隧洞(竖井)建成后, 砼裂缝较为密集, 部分隧洞充水后发生明显漏水。经反复处理后情况虽有所改善, 但仍未完全奏效。经分析, 裂缝与水泥用量较大、不设伸缩缝、隧洞超挖以及施工质量控制不严等因素有关, 建议采取合理分缝、降低水泥用量、改进泵送砼施工工艺以及加强缺陷处理等措施。在内外压力较高的情况下, 钢衬仍不失为最安全可靠的设计方案。

关 键 词: 裂缝; 压力隧洞; 泵站; 万家寨引黄工程

中图分类号: TV732.3

文献标识码: B

文章编号: 1000-1379(2003)06-0003-02

1 裂缝情况

万家寨引黄工程总干、南干共设 5 座泵站。其中, 总干一级泵站(GM1)、二级泵站(GM2)为地下泵站, 总干三级泵站(GM3)、南干一级泵站(SM1)、南干二级泵站(SM2)为地面泵站。地下泵站主要建筑物包括进水平洞、调压井、出水平洞、压力竖井等; 地面泵站包括压力水池、进、出水管, 出水平洞、竖井

等。除进、出水管与少量Ⅳ/V类围岩洞段采用钢衬外, 其余均采用 C20/C30 钢筋砼衬砌, 设计厚 50~60 cm。

泵站于 1998 年 12 月开工, 2001 年 9 月相继完成。平洞、竖井均采用钻爆法开挖。平洞采用泵送砼入仓, 软轴振捣泵振捣。经测试, 砼强度、抗渗、抗冻等各项指标均达到或超过设计要求, 但 5 座泵站平洞与竖井在施工过程及完工以后均出现大量环向裂缝, 如表 1。

表 1 裂缝情况统计

泵 站	部 位	结构尺寸/m			裂缝情况		说 明
		内 径	长 度	非钢衬段	裂缝数量/条	间 距/m	
GM1	1~3 号洞	4.0(5.6)	1 077	1 077	49		每 10 m 设 1 条伸缩缝 喷防渗涂层, 裂缝无法统计
	进水压力洞	5.4	150	150	13	11.5	
	进水调压井	12.0	62	62	5	12.4	
	出水竖井	5.2	198	198	32	6.2	
	出水压力洞	5.2	106	106			
GM2	进水调压井	12.0	75	75	3	25.0	喷防渗涂层, 裂缝无法统计
	进水压力洞	12.0	133	133	8	16.6	
	出水平洞	5.4	131	131			
GM3	平洞主洞	2.6	128	128	75	1.7	不设伸缩缝, 连续浇筑
	竖 井	5.2	66	66	28	2.4	
SM1	平 洞	3.8	500	179	78	2.3	
	竖 井	3.8	143	133	66	2.0	
SM2	平 洞	3.8	309	184	84	2.2	
	竖 井	3.8	145	145	50	2.9	

地下泵站裂缝间距 6.2~16.6 m, 地面泵站裂缝间距仅为 1.7~2.9 m。对于已出现的大于 0.2 mm 的裂缝, 施工后期均进行了化学灌浆处理。GM1、GM2、SM1、SM2 压力平洞还涂刷了防渗涂层。2001 年 9~11 月, 各泵站相继充水, 埋设的渗压计水位明显增高, 渗压计水头与竖井水头之比为 0.39~0.90。GM3、SM2 竖井在停水后水位降落, 平均每小时约降 2 m, 渗水量 20 m³/s 左右。试通水后及时放空检查, 洞内多处由外向内渗水, 防渗涂料大范围鼓起, 部分破裂渗水。2002 年 3~7 月再次进行回填灌浆与固结灌浆, 渗水量减少约 1/2, 取得明显效果。

2 产生裂缝的原因

平洞、竖井所产生的裂缝均为环向缝, 从裂缝特征及钢筋应力计等观测资料判断, 所有裂缝均为温度缝。

收稿日期: 2003-04-10

作者简介: 赵廷式(1937-), 男, 江苏高邮人, 高级工程师, 山西省万家寨引黄工程管理局总工程师。

砼温度缝产生的原因是砼在浇筑后产生水化热,导致砼体内温度升高。在外界气温下降后,砼体积收缩,当收缩应力大于砼抗拉强度时,砼开裂。隧洞砼开裂是一种常见病,但与其他已建成的隧洞相比,引黄工程泵站,尤其是3座地面泵站压力平洞与竖井裂缝比较密集,可能与以下原因有关:

(1) 砼设计标号较高(C30、W10、F150),水泥用量偏大。砼施工用大同普硅525号水泥373~385 kg/m³。施工后期强调掺用粉煤灰,减少了水泥用量,但仍未低于350 kg/m³。据计算,当水泥用量380 kg/m³时,水化热温升产生的温度应力占总温度应力的74%。在不采取温控措施的情况下,即使浇筑段较短,也难以避免砼开裂。

(2) 部分洞段采用不设伸缩缝的不跳仓连续浇筑。砼内部温度应力与分缝间距密切相关。在衬砌厚度不变情况下,砼温度应力随分段长度增大而增大。GM1、GM2平均每10 m设1条伸缩缝,出现的裂缝明显少于不设伸缩缝的3座地面泵站。

(3) 隧洞超挖造成衬砌厚度增加,内部温度应力增大,并产生集中应力。GM1、GM2、SM2平洞均出现了大量超挖,超挖段衬砌厚度为设计厚度的1~3倍,也是产生裂缝的原因。

(4) 施工质量控制不严。各泵站均采用泵送砼,为了增加砼流动性,部分洞段采用粒径5~20 mm的一级配砼。部分洞段振捣不实,表面打毛以后,可以见到砼内部存在细小裂缝,甚至出现蜂窝麻面。此外,拆模过迟、砼早期得不到及时养护、保温措施不当、洞内风速高、气温变化大等,都是产生裂缝的原因。

3 裂缝的处理

3.1 合理分缝

对于隧洞砼衬砌是否分缝问题,很早就有同志进行过研究,他们认为:预留伸缩缝,跳仓浇筑,不但影响施工进度,而且增加伸缩缝处理难度,处理不好,反而会形成集中通道,而且即使设置伸缩缝也难以避免砼开裂。《水工隧洞设计规范》(SD134-84)中也明确,在地质条件均一时,可以只设施工缝。而从另一方面看,设置伸缩缝可以有效减少由于水化热而产生的温度应力,使裂缝数量明显减少。如上所述,GM1、GM2两座地下泵站的平洞,每10 m设置伸缩缝,跳仓浇筑,有些浇筑段出现1~2条裂缝,有些浇筑段未见裂缝;而3座地面泵站,不设伸缩缝,纵向筋不断开,裂缝平均间距只有1.7~2.9 m。

这里特别要强调一下泵送砼问题。如果采用非泵送砼入仓,就可以采用2~3级配砼,水泥用量相对较少,砼坍落度较低。虽然不能完全避免裂缝,但毕竟数量较少,且较有规律,采用化学注浆等措施处理也比较容易。今后泵送砼广泛采用,而泵送砼的弱点一时又难以完全克服,如果仍采用不分缝快速连续浇筑的方法,就难以避免出现过于密集的裂缝。

3.2 严格把握施工质量

要制定合理工期,控制浇筑速度,保证浇筑段之间有足够时间间隔,使砼凝固期的水化热得到释放。为了赶工期,迫使浇筑速度过快,是产生裂缝的重要原因。

应尽量减少水泥用量。砼设计指标要合理,强度和抗冻指标要求过高,必然导致水泥用量加大。同时,应合理掺用粉煤灰和外加剂,增加砼流动性,并缩短泵送距离,避免使用一级配砼。

加强施工现场管理,特别要保证振捣质量,不仅做到表面光洁,而且要保证砼内部密实。适时拆模,保证砼初期得到及时养护,并注意保温控制,防止洞内温度剧烈变化。

现行验收规范对砼质量的主要考核指标是砼的28天强度。测定强度的试样多取自拌和机口。实际上,只要砼配合比设计合理,强度都能达到设计要求,超强现象时有发生。施工单位和监理工程师往往用增加水泥用量保证强度指标,而放松现场控制。建议在今后验收规范和合同文本中,除强调砼的强度、抗冻、抗渗等指标外,还应增加加强现场控制、防止裂缝的条款。

3.3 做好缺陷处理

由于设计与施工等综合因素,使得某些砼缺陷不可避免,后期缺陷处理也就成为正常工序。

引黄工程对缺陷处理的原则是“标本兼治”。治本的措施是重复进行回填灌浆与固结灌浆。通过回填灌浆保证衬砌与围岩之间的紧密结合;通过固结灌浆加固围岩,发挥围岩与衬砌的整体强度和防渗功能,建立第二道防线。3座地面泵站尽管在第一次灌浆后均已达到验收标准,但重复灌浆中有些孔的单孔吃浆量仍多达数吨。GM3、SM2平洞经过二次灌浆后,渗漏量减少50%,取得明显效果。

在引黄明流输水洞及泵站压力隧洞中还大面积采用了防渗透层。涂层来自不同设计、研究单位,配方略有不同,均属于聚氨酯类,试验室试验指标:黏结强度大于2.43 MPa,抗拉强度17.5 MPa,均符合要求。但明流洞在实际使用中鼓包、卷起、脱落现象比较普遍。特别是泵站压力隧洞的防渗透层泄空后空鼓现象比较严重,如GM1平洞鼓包面积达25%,GM2达8%,当时外水压力不到0.5 MPa,鼓包直径2~50 cm,多处破裂渗水。其主要原因是,该类材料对现场施工条件过于敏感,如砼表面含水量、气温、湿度、清洁状况等均难满足材料应用要求。此外,由于泵送表层灰浆聚集,如不清凿干净,涂层还会粘连表层灰浆一起脱落。看来该类涂层在防止内水外渗方面能起到一定作用,而外水压作用下的脱空问题却难以解决。用于短期临时防水措施有一定作用,作为永久防渗措施还有待改进。在今后处理中拟改用渗入型水泥基材料,可能会取得较好结果。

3.4 有关钢衬与砼衬砌的比较

引黄泵站压力隧洞(竖井)设计水头140 m,过渡状况下可能达到210~220 m,是采用钢筋砼衬砌还是采用钢板衬砌,曾做过比较和讨论。如做好回填灌浆和围岩的固结灌浆,发挥衬砌与围岩的整体作用,采用钢筋砼衬砌可以满足结构强度要求。由于采用限裂设计而带来的裂缝渗水问题,曾希望通过防水涂层来解决。但在隧洞(竖井)施工完成和充水运行后,砼出现的大量裂缝并非由于限裂设计而出现的纵向受力缝,而是比较密集的环向温度缝,事后处理到不漏水相当困难。因此,在确定压力隧洞衬砌形成时,除考虑结构受力安全外,还应应对施工中可能出现的砼开裂等缺陷给予足够重视。在引黄泵站施工中,及时对一些通过地层比较薄弱、渗水可能引起不良效果的洞段,改用钢板衬砌是完全必要的。对可能引起周边地质条件恶化的洞段,采用钢衬仍不失为安全可靠的方案。

【责任编辑 王琦】