

# 塔带机浇筑大坝混凝土工艺

彭 冈

(中国长江三峡工程开发总公司, 湖北宜昌 443002)

**[摘要]** 塔带机浇筑混凝土的突出特点是供料连续, 强度高, 并具有仓面布料功能, 但也存在预冷混凝土在输送中温度回升较大, 如控制不当较易出现混凝土骨料分离现象等问题。如何确保塔带机浇筑混凝土既高速度, 又高质量, 是工程施工中必须解决的关键问题。文章结合三峡二期厂坝工程混凝土施工情况, 探讨了塔带机浇筑大坝混凝土时的混凝土原材料质量控制、仓面配套设备、仓面施工工艺、设计方面的配合及设备管理等方面的要点。

**[关键词]** 三峡工程; 塔带机; 混凝土浇筑

**[中图分类号]** TV53+6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)09-0077-04

## 1 概述

塔带机是美国罗泰克公司(ROTEC)开发出的大坝混凝土浇筑专用设备, 是塔机与皮带机的有机结合, 既有塔机的功能, 又融合了皮带机的特点。它将混凝土水平输送、垂直输送及仓面布料功能融为一体, 具有很强的混凝土浇筑能力。塔带机与混凝土供料线配合使用时, 更实现了混凝土从拌和楼到仓面施工连续、均匀、高效的工厂化作业方式, 是目前世界上最先进的大坝混凝土浇筑设备。在混凝土输送质量方面, 塔带机及混凝土供料线配备了一系列混凝土输送专用设备, 如刮刀、转料斗及下料皮筒等, 基本上克服了普通皮带机输送混凝土时存在的骨料分离、灰浆损失等大的缺陷, 从而使其在大坝混凝土浇筑中有了较大发展。

中国长江三峡工程开发总公司于1994年率先引进一台罗泰克公司生产的TC2400型塔带机, 在三峡右岸一期工程中进行生产性试验, 取得了较好效果。在此基础上, 三峡二期厂坝工程则采用以6台塔带机为主的混凝土施工方案, 截止到2002年6月底, 6台塔带机共浇筑混凝土 $519 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 很

好地发挥了主导施工设备的作用。实际施工中, 单台塔带机的最高月浇筑强度达 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 混凝土浇筑质量也满足设计要求, 但也反映出预冷混凝土在输送途中温度回升较大, 如控制不当较易出现混凝土骨料分离现象等问题。对此, 施工中采取了一系列措施, 以保证塔带机浇筑混凝土既高速度, 又高质量。

## 2 混凝土原材料与配合比

1) 粗骨料。四级配混凝土中特大石的粒径为150 mm, 部分超径石的粒径达175 mm, 甚至更大。超径石过多, 容易导致混凝土输送过程中骨料分离, 而且也会影响皮带机的正常运行。根据现场生产性试验结果分析, 应适当降低特大石比例(将常规比例30%降为20%~25%), 严格控制特大石超径比例。

2) 细骨料。砂的细度模数过大, 对混凝土和易性及泌水性影响明显, 应严格按设计要求控制在 $2.6 \pm 0.2$ 。砂的含水率要严格控制在6%以内, 并尽量减少波动值, 以控制混凝土坍落度的稳定性。

3) 粉煤灰。有条件时应尽量选用 I 级粉煤灰, 因为 I 级粉煤灰中的微珠在混凝土中起“轴承”作用, 可大大提高混凝土的和易性, 改善皮带机转接和下料时容易出现的堵料现象。

4) 混凝土配合比与坍落度。a. 对四级配混凝土, 除适当降低特大石比例外, 还应注意对混凝土中最小胶凝材料用量的控制。胶材偏少时, 粗骨料易分离, 影响混凝土的和易性。b. 合理选择混凝土坍落度。随着大型振捣臂的普遍采用, 一般倾向于选择低坍落度混凝土 (1~3 cm), 以有效降低混凝土的单位用水量, 但过低的坍落度使混凝土变干, 易出现堵料及分离现象。因此, 以适中的坍落度 (5~7 cm) 为好<sup>[1]</sup>。

### 3 仓面配套设备

1) 平仓机。塔带机本身具有布料功能, 当操作比较熟练时, 可较均匀地布料, 但塔带机存在一定范围的死区、盲区, 在这些部位施工必须配备平仓机。仓面上是否配备平仓机, 应根据仓面具体情况和塔带机下料条件确定: 在采用皮筒定点下料或塔带机浇筑时留下死区、盲区; 塔带机操作不熟练, 布料不均匀的情况下配平仓机, 能较好地控制层厚和改善模板周围粗骨料集中问题。以下情况原则上不需配备平仓机: a. 仓面较小, 仓面上设备又较多, 配平仓机后设备间的干扰太大; b. 仓面上布有水平钢筋网; c. 对仓面上存在的部分骨料分离已采取综合措施解决, 如: 加强塔带机的布料培训、人工分散粗骨料、控制下料工艺、降低混凝土级配、加强振捣等。

2) 振捣设备。塔带机浇筑能力强, 仓面上必须配备足够的振捣设备, 其振捣能力应按浇筑强度的 1.5~2 倍配置。应针对仓号的具体情况, 采用大功率振捣臂 (如  $\phi 150 \text{ mm} \times 850 \text{ mm}$ , 振频 7 000~8 000 次/min, 振幅 2.8 mm) 与手持式振捣棒相结合的配套方式。对止水片、止浆片及模板、埋件、廊道周围混凝土, 必须有专人负责, 并用手持式振捣棒细心振捣, 以保证混凝土的密实性。

3) 布料机。采用布料机接力浇筑塔带机的死区、盲区是一种较好的配套办法, 但也有一定的局限性, 主要是布料机皮带带宽偏小, 不能浇筑四级配混凝土。一般认为, 是否配备布料机, 要根据塔带机死区、盲区的大小、分布情况及大坝上下游配备的其他浇筑手段而定。

### 4 仓面施工工艺

1) 下料。塔带机采用 9~15 m 长的皮筒下料。为防止混凝土在这一环节产生分离, 应重点控制以下事项: a. 对没有钢筋的仓面, 皮筒卸料口距仓面 1.5~2 m, 并均匀移动布料, 不得堆积过高; b. 布料条带清晰, 并有足够宽度; c. 在模板周围布料时, 卸料点与模板的距离保持在 1~1.5 m, 人工分散粗骨料后, 再用平仓机或振捣臂将混凝土就位; d. 对布有水平钢筋网的仓面, 应优化钢筋布置或调整混凝土分层高度, 尽量减少钢筋下的空间或适当改变钢筋接头方式与施工程序, 使皮筒伸到钢筋网下面布料, 防止骨料撞击钢筋而产生飞石现象。同时, 应尽量将坝体前后块、相邻块高差控制在 6 m 之内, 为减小布料皮带与仓面之间的落差创造良好条件。

2) 层间结合。实际施工情况表明, 塔带机不宜输送砂浆。因砂浆易粘结在转料斗中而产生堵塞, 堵塞到一定程度后呈团跌落到仓面上, 引起飞溅。现场生产性试验证实, 采用“软着陆法”既方便施工, 又可保证新老混凝土层间结合质量: 对新浇混凝土的第一坯, 在大坝迎水面 8 m 范围内采用 20 cm 厚相应标号二级配混凝土, 其他部位采用 40 cm 厚相应标号三级配富浆混凝土代替层面砂浆。

3) 浇筑方法。塔带机具有连续高强度的混凝土浇筑能力, 混凝土浇筑方法必须与此相匹配: a. 对面积不超过 500 m<sup>2</sup> 的仓号, 原则上采用平铺法, 其浇筑强度不得低于 100 m<sup>3</sup>/h。此法仓面组织简洁, 铺料厚度易于控制, 更利于保证质量; b. 对面积较大的仓号, 只要条件允许, 也尽可能采用平铺法, 确有困难而采用台阶法浇筑时, 必须采用较大的台阶宽度 (4~6 m 以上), 台阶层数控制在 3 层; 采用 4 台阶 2 m 厚的浇筑层时, 其混凝土浇筑强度应达到 150 m<sup>3</sup>/h 左右。否则, 台阶过窄, 界线不清, 铺料层厚难以控制, 易产生漏振<sup>[2]</sup>。

4) 粗骨料集中处理。仓面上必须配 3~4 名工人专门负责分散集中的粗骨料, 应特别注意分散止水片、止浆片和模板周围集中的粗骨料, 防止架空。

5) 人工振捣。仓面上除配备大功率的振捣臂外, 还应专门配备 4~5 名振捣工, 手持振捣棒进行止水片、止浆片、预埋件和模板周围混凝土的振

捣，以保证这些部位混凝土的密实性。

6) 仓面积水的排除。仓面积水排除不及时是导致混凝土不密实的重要原因，必须派专人负责此项工作。另外，混凝土收仓时应尽量平整，不留坑、洼，为下一仓的浇筑创造较好条件。

7) 冷却水管的固定。冷却水管易受下料的冲击而产生位移、变形，甚至折断，故应在混凝土收仓时预埋部分小型埋件，将冷却水管予以固定。

## 5 设计方面的配合

1) 混凝土标号。与传统的吊罐浇筑法相比，塔带机浇筑混凝土标号分区较多的仓号难度较大：

a. 改变混凝土品种必须短暂中断混凝土供料，而料头、料尾混凝土易产生骨料分离，对混凝土质量不利；b. 皮带机上的混凝土量难以准确估计，易造成下料错误；c. 影响塔带机的浇筑速度。因此，同一仓号应尽量简化混凝土标号，以不超过2~3种为宜。

2) 混凝土级配。对下料困难的部位，如塔带机死区、盲区、廊道和电梯井等孔洞周围钢筋密集区，应尽量避免使用四级配混凝土；对设有两排水平钢筋、竖向钢筋等下料特别困难的部位，应采用二级配混凝土。

3) 钢筋布置。对必须铺设钢筋的部位，在钢筋型式、钢筋间距等方面应充分考虑塔带机皮筒下料的适应性，应预留下料槽口，以便皮筒能伸到水平钢筋网下进行布料。为此，设计时应允许在钢筋安装中采用一定数量的绑扎接头。

## 6 预冷混凝土在输送中的温控问题

预冷混凝土运送中的温度控制是一个受到普遍关注的问题。一方面，皮带机输送混凝土的速度快，达4 m/s左右，可极大地缩短预冷混凝土暴露在高温环境中的时间，对温控有利；另一方面，摊铺在皮带机上的混凝土层很薄，热量倒灌时，容易将其“热透”，对温控很不利。三峡工地实测资料表明，7℃预冷混凝土在供料线上的温度回升值约1℃/150 m，总回升量4~6℃，故如何避免预冷混凝土在皮带机输送途中温度回升值过大，保证预冷效果，显得十分重要。

1) 在皮带机上设置保温设施。在皮带机上盖以白色或铝制的防雨遮阳保温罩，不仅可以防止太阳入射引起的温度回升，还可减少滞留在皮带机周

围的空气引起的热量对流损失，并排除了混凝土表面风的对流。值得注意的是，出于对风荷载及结构稳定方面的考虑，不允许在混凝土供料线及塔带机布料皮带上设置全封闭式的保温廊道，这使预冷混凝土的保温受到了一定限制。

2) 加强管理。罗泰克皮带机采用较大的槽角，物料断面基本上是矩形，其混凝土表面积与体积的比值较小，有利于控制热量倒灌，但皮带上摊铺的毕竟是薄层混凝土，易引起热量倒灌，故应加强管理，使混凝土生产正常、连续地进行，皮带上的混凝土尽可能满，防止料流中断或不连续，保证皮带上的混凝土层尽量厚一些。

3) 高温季节选择低温时段浇筑混凝土。塔带机入仓强度高，在保证完成浇筑任务的前提下，在高温季节尽量避开中午高温时段，充分利用夜间浇筑。

4) 进一步降低混凝土出机口温度。根据现场试验，实测预冷混凝土在皮带机上的温度回升值，以控制满足混凝土浇筑温度的混凝土出机口温度。这是目前塔带机浇筑预冷混凝土时采取的主要温控措施。但有其局限性：a. 当混凝土出机口温度达7℃时，温度很难继续下调；b. 工程量大时，经济成本较高。

## 7 设备管理

塔带机及其混凝土供料线具有很强的混凝土浇筑能力，但也存在很大风险，主要是塔带机基础埋入坝体之内，且浇筑范围大，任何一个环节一旦出现故障，都会因相互间支援较差而影响众多仓面的混凝土生产。故必须建立严格的设备日常保养、维护及定期检修制度，使设备能持续、稳定地保持完好状态。

1) 严格推行强制性维护、检修制度。针对每种设备的特点，制定相应的定期维护、检修的具体规定，并严格贯彻落实。要特别加强皮带、转料斗、刮刀等关键部件的冲洗与维护，保证混凝土的输送质量。此外，在制订生产计划时，必须为设备维护、检修安排足够的时间。

2) 及时更换易损件。刮刀、下料皮筒等零部件损坏后，应及时更换，否则，不仅影响混凝土质量、加剧相关部件的磨损，还会增加非正常停机时间，其负作用相当大。

3) 提高设备完好率。混凝土供料连续、均匀，可有效减少混凝土的骨料分离，减少混凝土温度回

升,也便于均衡地组织仓面生产。在混凝土浇筑过程中要求混凝土生产系统、供料线、塔带机这“一条龙”能正常运行,不出故障。这对设备的维护、保养和检修提出了严格要求,必须精心管理才能达到。

4)使混凝土浇筑小时强度稳定在较高水平。如供料充分、各环节配合好,塔带机的平均浇筑强度可达 $200\text{ m}^3/\text{h}$ 以上,实际施工中,应采取各种措施,使塔带机的浇筑强度稳定在 $150\text{ m}^3/\text{h}$ 或以上。强度偏低时,不仅使塔带机的生产能力受到制约,而且对混凝土的输送质量也有较大影响:**a.**混凝土下料强度较高时,混凝土在下料皮筒中因挤满给料而形成局部真空,从而对混凝土下落产生阻滞、缓降作用,不易产生骨料分离。反之,如强度偏低,混凝土在皮筒中所受阻力很小,从而因跌落高度过大而引起骨料分离;**b.**皮带机上混凝土层厚较薄,对预冷混凝土的温度回升控制不利;**c.**仓号浇筑时间长,在夏天高温季节难以避开中午高温时段浇筑混凝土。因此,必须从设备配套和仓面

组织等各方面着手,尽量使混凝土的浇筑强度稳定在较高水平,克服上述不利影响。

## 8 结语

塔带机浇筑大坝混凝土在我国是一项新工艺,其关键问题是预冷混凝土在皮带机输送途中的温度控制及浇筑四级配混凝土时防止骨料分离。对此,在三峡二期厂坝工程混凝土施工中,从混凝土原材料质量控制、仓面配套设备、仓面施工工艺、设计方面的配合及设备管理等方面进行了一系列探索,取得了较好效果,但也存在一些薄弱环节,应进一步细化施工工艺,加强管理,确保塔带机浇筑混凝土既高速度,又高质量。

### 参考文献

- [1] 曹广晶,彭冈.三峡二期厂坝工程混凝土施工质量控制[J].水力发电,2000,(6):38~42
- [2] 彭冈.塔带机浇筑大坝混凝土工艺探讨[J].中国三峡建设,2001,(1):27~29

## Dam Concrete Placement by Towerbelt

Peng Gang

(China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation, Yichang, Hubei 443002, China)

[Abstract] The outstanding properties of concrete placement by towerbelt are the interrupted feeding, high intensity and the capability of direct pouring on the block. However, there would be some problems of back rise of temperature of the pre-cooled concrete during transportation, which is prone to segregation of concrete aggregate if not suitably controlled. Therefore, how to guarantee the concrete placement by towerbelt both at high speed and of good quality is the key issue to be solved during the construction. Some key issues are discussed in the paper at combination with the phase II concrete construction of the TGP powerhouse and dam in terms of quality control of raw materials of concrete, counterpart equipment and construction technologies on the pouring block, designs matching and equipment management during the dam concrete placement by towerbelts.

[Key words] TGP; towerbelts; pouring concrete