参 考 資 料

外国における粉粒体の低速高濃度輸送の計画方針の例*

森 川 敬 信**
Yoshinobu MORIKAWA

1. 序

最近粉粒体の低速高濃度空気輸送についての関心が
大きいように見受けられるので、外国の2社

- (1) Bühler Brothers Ltd. スイス
Bühler Miag Ltd. 西ドイツ
(2) Waeschle GmbH. 西ドイツ

において、どのような考え方に従って、輸送方式を選定
しているかを簡単に記し、低速高濃度空気輸送装置を計
画、設計する場合の参考に供する。

2. Bühler Brothers Ltd. における 考 え 方^{1)~3)}

2.1 輸 送 形 式

Table 1 空気輸送の典型的な輸送形式 (管の内径が0.1mの場合)

	輸 送 方 法	速 度		混合比 μ [—]	管長100mに ついての圧力損失 Δp [N/m ²]
		空 気 v [m/s]	粒 子 c [m/s]		
(1)	a 混合比：小 粗粒子	20~35	$(0.5\sim0.8)v$	< 30	$0.1\sim1.0\times 10^4$
	b 混合比：小 細かい粒子	15~30	$(0.9\sim1.0)v$	< 10	0.1~1.0
(2)	FLUIDLIFT 混合比：大 細かい粒子	10~25	管の上部 $(0.9\sim1.0)v$ 管底 $(0.1\sim0.3)v$	10~30	1.0~3.0
	不安定な流れ、 商業上利用で きない。	5~15	管の上部 $(0.9\sim1.0)v$ 管底 $\approx 0.7v$	10~30	—
(3)	a 混合比：大 短距離 →密度減少	3~10	$\approx v$	≈ 150	≈ 1.0
	b FLUIDSTAT 混合比：大 slug-phase conveying	3~15	$(0.5\sim0.8)v$	20~150	0.5~6.0
(4)	a 混合比：大	0.5~8	$\approx v$	≈ 150	≥ 6.0
	b TAKT-SCHUB 混合比：大 pulse-phase conveying	2~10	$\approx 0.6v$	≈ 150	0.5~6.0

昭和56年6月11日受付

*昭和55年5月28日、日本粉体工業協会55年度第1回貯槽・供給分科会
(東京)における講演内容のうち、低速高濃度輸送の部分をまとめ、加
筆したものである。

**大阪大学工学部産業機械工学科 〒565 吹田市山田丘2-1
TEL 06-877-5111

Fig.1 4種類の形式の作動範囲

空気輸送の形式を

- (1) 低混合比の輸送
- (2) 高混合比の輸送 (FLUIDLIFT) } 従来の空気輸送
- (3) 高混合比のスラグ輸送 (FLUIDSTAT) } プラグ輸送
- (4) 高混合比のパルス輸送 (TAKT-SCHUB) }

の4種類に大別し、水平輸送を例にとって、輸送管内の固体粒子の流れの状態を Table 1 のように表わす¹⁾。さ

Fig.2 空気を通しにくい粒子から成るプラグを切断する方法

- a: 輸送管内の長いプラグ
- b: バイパス・パイプラインを用いる方法
- c: 多孔管からの付加空気による方法
- d: ブースタを用いる方法

らにこの4種類の輸送形式を Fig.1 のように表わし、縦軸の輸送圧力 Δp と、横軸のフルード数

$$Fr = v / \sqrt{gD}$$

から、上の(1)~(4)の4種類の輸送形式のうち、どの形式を選択すべきかをきめる¹⁾。ただし Fig.1 の縦軸と横軸の値は明示されていない。

2.2 低速輸送の原理

Fig.2 において、aは粒子を(3~10)m/sの気流速度で輸送するとき、気流が粒子間を通過していくために、長いプラグが形成される場合を示す。このプラグを寸断するために、bのようにバイパスを用いる方法 (FLUIDSTAT)、cのように空気源を異にする多孔管を用いる方法、dのように、空気源を異にする管からのブースタによる方法が考えられる¹⁾²⁾。bの方法によれば、プラグを寸断して短いスラグを作るのに、付加的な空気を必要としない。それに反して、cおよびdの方法によれば、輸送管の下流に行くにしたがい、輸送速度が増加し、混合比の小さい空気輸送に移行することが考えられる。

2.3 バイパス・パイプラインの原理

輸送管の中にある一つの粒子柱を動かすのに必要な圧力は、Fig.3のように粒子柱の長さとともに、著しく増加する。それに反して、バイパス・パイプラインの中の気流については、圧力は直線状の変化を示し、たとえば粒子柱の中央部、すなわちバイパスの開孔部においては、バイパス・パイプラインの中の圧力は、粒子柱を動かすのに必要な圧力よりも、図のように Δp_{air} だけ大きい。この圧力 Δp_{air} のために、長さ dl_1 のスラグは気流の方向に動かされ、その結果として(3~15)m/s程度の速度での輸送が可能になる。

Fig.3 バイパス・パイプラインを用いるときの圧力状態

Fig.4 輸送形式をきめるための線図 (輸送圧力が $2.94 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ の場合)

2.4 FLUIDSTAT の適用範囲

Fig.2 の a および b について説明したことから、この FLUIDSTAT の形式に対しては、粒子の大きさとして、mm 以下を対象としている²⁾。広い範囲にわたる粒径分布をもつ粉体の場合にも、この形式の輸送が適している²⁾。具体的な固体粒子としては、セメント、アルミナ、硫酸塩、鉱石、土、砂糖、塩、でんぶん、小麦粉、プラスチック樹脂、ソーダ灰、石灰石、炭酸カルシウムなどが例として挙げられている。

Fig.4 は輸送圧力 $3 \text{ at}_g (2.94 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$ のもとにおける粒径 d_K 、かさ密度 ρ_s 、輸送距離 L 、輸送量 G_K の関係を示し、図の黒い部分が FLUIDSTAT の適用範囲である⁴⁾。次の例題によって、この線図の使用法を理解することができる⁴⁾。

例題 粒径 $30 \mu\text{m}$ 、かさ密度 1000 kg/m^3 の粉末を、 17 t/h の割合で、距離 310 m だけ輸送する場合の輸送形式を定めよ。ただし輸送圧力を 3 at_g とする。

解 与えられた数値により、Fig.4 の中の矢印をたどれば、交点が図の黒い部分に入るので、この場合には、FLUIDSTAT すなわちいわゆるバイパス・パイプラインを用いるプラグ輸送を適用してよいことがわかる。

2.5 固体粒子を間欠的に供給するプラグ輸送, TAKT-SCHUB

粒径 2 mm 以上の固体粒子あるいは狭い範囲の粒径分布をもつ粒子の場合は、Fig.5 の a のように、気流は粒子の中によく浸透するので、Fig.2 の b, c および d のような方法をとる必要がなく、Fig.5 の b のように、粒子を輸送管内に間欠的に供給すればよい。

Fig.5 空気を通し易い粒子から成る短いスラグ

a : 切断されていないプラグ

b : 輸送管内へ間欠的に供給された短いスラグ

		混合比の小さい輸送		低 速 輸 送		原理： プラグを 寸断	原理： 短かい スラグ
		混合比：大	混合比：小	FLUIDLIFT	FLUIDSTAT	TAKT-SCHUB	
粉 体	顆粒・配列	非粘着性					
		粘 着 性	R'				
	細粒・小配列	非粘着性 <100m, <10t/h					
		非粘着性 >100m, >10t/h					
		粘 着 性 <100m, <10t/h					
		粘 着 性 >100m, >10t/h	R				
粒 体	顆粒・配列	非粘着性					
		粘 着 性	R'				
	細粒・小配列	非粘着性					
		粘 着 性					P

Fig.6 粘着性のある粒子の輸送形式

R : ゴムホース

P : プラスチック管

R' : ゴムホースにする可能性がある

2.6 粘着性のある粒子の空気輸送

塗装原料（顔料）あるいは脂肪分の多い食品などのように、粘着性のある粒子を輸送するには、フレキシブルなゴムホースまたはプラスチック製の輸送管を用いればよい³⁾。粘着性のある粒子の種類、輸送量、輸送距離に応じて、輸送方式が異なるのが普通であって、Fig. 6の斜線部はそれを示している³⁾。この図はまた、低速高濃度輸送が、空気輸送のすべてではないことを示している。

Fig. 7 FLUIDSTAT 形式のパイロット・プラント

Fig. 8 TAKT-SCHUB 形式のパイロット・プラント

2.7 パイロット・プラント

Table 1 中の FLUIDSTAT および TAKT-SCHUB の各輸送方式に対するパイロット・プラントがそれぞれ Fig. 7 および Fig. 8 に示されている¹⁾。

3. Waeschle GmbH における考え方

Bühler Brothers Ltd. においては、粒径 2 mm を境界として、低速高濃度空気輸送を 2 方式に分けたのに対して、Waeschle GmbH. においては、粉体または粒径 0.5 mm 以下の粒子に対しては、センサーを備えたバイパス・パイプラインを用いる低速空気輸送 (Pneumosplit) を採用している⁵⁾。この輸送方式については、機構の説明もされている^{5) 6)}。また粒径 0.5 mm 以上の粒子に対しては、輸送管内に粒子を間欠的に供給する低速輸送 (Slow Motion Conveying System) を採用している⁵⁾。この場合、気流の速度は (4~10) m/s 程度、プラグの速度は (1~2) m/s 程度である。

4. む す び

外国の 2 社を例にとり、低速高濃度空気輸送を計画するにあたって、どのような考え方に従っているのかについて、大要を紹介した。両社とも、企業として公表をさしひかえている事項は多いことと推察されるが、公表されている数値は、できるだけ本文および図の中に示すように心がけた。

使 用 記 号

e : 固体粒子または粒子群の平均速度	[m/s]	L : 管の長さ	[m]
D : 輸送管の直径	[m]	dl : プラグの長さ	[m]
d : バイパス・パイプラインの直径	[m]	p : 圧力	[N/m ²]
d_{x50} : 固体粒子の平均直径	[m]	Δp : 輸送圧力または圧力損失	[N/m ²]
$Fr = v/\sqrt{gD}$: フルード数	[-]	v : 気流の平均速度	[m/s]
g : 重力の加速度	[m/s ²]	μ : 混合比	[-]
G_K : 固体粒子の輸送量	[t/h]	ρ_s : 固体粒子のかさ密度	[kg/m ³]

引 用 文 献

- 1) Flatt, W. : Pneumatic Low-Velocity Conveyors. Bühler 社カタログ
- 2) Flatt, W. : Paper A 3, *Pneumotransport* 3 (1976), BHRA.
- 3) Flatt, W. : Paper J 2, *Pneumotransport* 5 (1980), BHRA.
- 4) FLUIDSTAT, Bühler 社カタログ
- 5) Schonende pneumatische Förderung mit Waeschle. Waeschle Maschinenfabrik GmbH カタログ
- 6) Krambrock, W. : *Verfahrenstechn.*, 12, 190 (1978).